

**AUSWIRKUNGEN DES LANGSTRECKENLAUFES
AUF HÄMATOLOGISCHE GRÖSSEN UND
WASSER - / ELEKTROLYTHAUSHALT BEI
JUGENDLICHEN SPORTLERN**

MÖGLICHER EINFLUSS EINER ELEKTROLYT - SUBSTITUTION

NIKOLAUS - PETER WENZLER

1985

*Diss
München*

Aus der Anaesthesieabteilung (Leiter: Prof. Dr. A. Doenicke)
der Chirurgischen Poliklinik der Universität München
Direktor: Prof. Dr. L. Schweiberer

AUSWIRKUNGEN DES LANGSTRECKENLAUFES AUF HÄMATOLOGISCHE GRÖSSEN
UND WASSER-/ELEKTROLYTHAUSHALT BEI JUGENDLICHEN SPORTLERN

Möglicher Einfluß einer Elektrolyt-Substitution

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Nikolaus - Peter W e n z l e r

aus

Garmisch-Partenkirchen

1985

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. A. Doenicke

Mitberichterstatter: Prof. Dr. L. Schweiberer

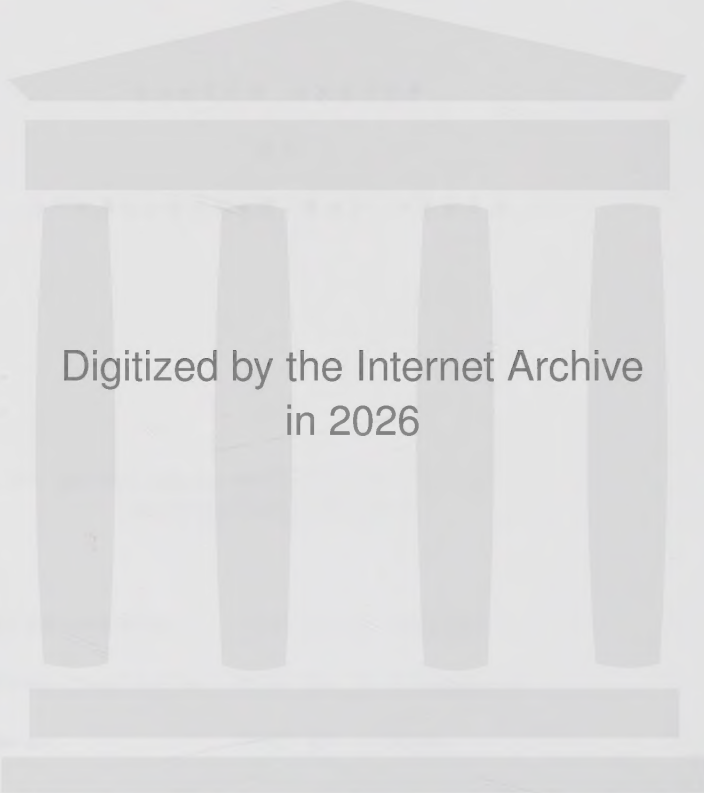
Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 28. Mai 1985

Meinen Eltern

in

Liebe und Dankbarkeit



Digitized by the Internet Archive
in 2026

INHALTSVERZEICHNIS

=====

	Seite
<u>A. EINLEITUNG</u>	1
<u>B. METHODIK UND VERSUCHSPLANUNG</u>	3
1. GESAMT - KONZEPT	3
1.1. Allgemeines	3
1.2. Untersuchte Sportler	3
1.3. Zeitlicher Ablauf der Studie	4
1.4. Laufstrecke	5
1.5. Ziel - Parameter	6
1.6. Elektrolyt - Präparate	7
1.7. Ethische Fragestellungen	8
1.8. Organisatorische Fragestellungen	8
2. VERSUCHSABLAUF - DURCHFÜHRUNG	10
2.1. Praktische Aspekte	10
2.2. Besonderheiten der Durchführung	10
3. ABNAHME UND VERARBEITUNG DER BLUT- UND URINPROBEN	11
4. ANALYSEN UND BERECHNUNGEN	12
4.1. Bestimmung von Hämoglobin, Erythrotenzahl, Hämatokrit und Mittlerem Zellvolumen	12
4.2. Bestimmung der Elektrolyt-Konzentrationen in Vollblut, Erythrozyt, Serum und Urin	12
4.3. Bestimmung von Gesamt - Eiweiß und Kreatinin	13
5. STATISTISCHE AUSWERTUNG	14

C. ERGEBNISSE UND GRAPHISCHEDARSTELLUNGEN

17

1. HÄMATOLOGISCHE PARAMETER	20
1.1. Erythrozytenzahl	20
1.2. Hämoglobin	20
1.3. Hämatokrit	20
1.4. Mittleres Zellvolumen	20
2. KÖRPERGEWICHT	23
3. ELEKTROLYTE	25
3.1. Natrium	25
3.2. Kalium	29
3.3. Calcium	33
3.4. Magnesium	37
3.5. Eisen	41
3.6. Zink	45
3.7. Kupfer	49
3.8. Chlorid	53
4. KREATININ	57
5. GESAMT - EIW E I ß	59

D. DISKUSSION

61

1. ALLGEMEINES	61
2. DISKUSSION DER METHODIK	62
3. DISKUSSION DER ERGEBNISSE	64
3.1. Belastungsintensität. Körpergewicht. Kreatinin.	64
3.2. Hämatologische Parameter. Wasser-Verschiebungen. Gesamt-Eiweiß	65
3.3. Elektrolyt - Veränderungen	70

<u>E. SCHLUßFOLGERUNGEN</u>	83
-----------------------------	----

<u>F. ZUSAMMENFASSUNG</u>	87
---------------------------	----

<u>G. LITERATURVERZEICHNIS</u>	91
--------------------------------	----

<u>H. ANHANG</u>	99
------------------	----

Anhang 1: Teilnehmerliste mit Randomisierungsplan	101
---	-----

Anhang 2: Einzelergebnisse	103
----------------------------------	-----

<u>I. DANKSAGUNG</u>	141
----------------------	-----

<u>K. LEBENS LAUF</u>	143
-----------------------	-----

A. EINLEITUNG

Ausdauersportarten, wie Langstreckenlauf, Radrennfahren oder Skilanglauf, gewinnen zunehmend an Bedeutung. Die große Zahl der Hobby-Läufer und Teilnehmer an Volksläufen auf Langlaufskiern im Winter möge hier als Beispiel dienen.

In diesem Zusammenhang richtet die Sportmedizin vermehrt Aufmerksamkeit auf Ausdauerbelastungen und deren physiologische Auswirkungen. Schwerpunkte sind kardio-pulmonale Untersuchungen - speziell die hämodynamischen Aspekte -, Veränderungen hämatologischer und blutchemischer Parameter, sowie Beeinflussungen des Wasser- und Mineral- bzw. Elektrolythaushaltes.

Das Hauptproblem dieser Untersuchungen besteht darin, daß die weit überwiegende Zahl der Studien im Labor durchgeführt wurde, also auf dem Fahrrad- oder dem Laufbandergometer [7, 8, 19, 24, 27, 33, 38, 46, 51, 60, 61, 72, 78, 81]. Hierbei gilt: "Die im Labor gemessene Ausdauerleistungsfähigkeit ist zwar gut reproduzierbar, läßt aber keine exakten Rückschlüsse auf die Leistung in der betreffenden Sportart unter Trainings- oder Wettkampfbedingungen zu. Dieser Tatbestand kann im Gespräch mit Athlet und Trainer gar nicht deutlich genug zum Ausdruck gebracht werden" [52].

Nur relativ wenige Studien sind bisher unter solchen Trainings- oder Wettkampfbedingungen durchgeführt worden, insbesondere was jugendliche Sportler anbetrifft. Deshalb ist es das Hauptziel dieser Arbeit, eine Studie an jugendlichen Ausdauersportlern unter realen, wettkampfmäßigen Trainingsbedingungen im Rahmen einer 4-wöchigen Trainingsphase durchzuführen, d.h. auf deren regulären Trainingsgelände und zu deren üblichen Trainingszeit. Eventuelle Unwägbarkeiten, wie z.B. die unterschiedliche Witterung zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten, werden dabei bewußt in Kauf genommen, auch wenn sich dadurch eine eingeschränkte Verwertbarkeit bestimmter Ergebnisse ergeben sollte (siehe dazu: "Diskussion der Methodik", Seite 62).

Nicht zuletzt deswegen beschränkt sich diese Arbeit auf die Auswirkungen von Ausdauerbelastungen, in diesem Falle des Langstreckenlaufes, auf hämatologische Parameter, sowie auf mögliche Veränderungen im Wasser- und Elektrolythaushalt (hier: Gesamtkörperwasser, Elektrolytkonzentrationen im Vollblut, Erythrozyt, Serum und Urin) und dessen mögliche Beeinflussung durch die Einnahme von Elektrolyt-Präparaten - in flüssiger Form oder als Tabletten - über mehrere Wochen.

Eine derartige Elektrolyt-Substitution ist heutzutage bei vielen Langstreckenläufern, Radrennfahrern und Skilangläufern etc. üblich; allerdings ist die Frage nach der Notwendigkeit der Einnahme solcher Präparate nicht eindeutig geklärt, obwohl einige Studien vorliegen, die eine signifikante Änderung der Blutelektrolytspiegel während einer Ausdauerleistung aufzeigen konnten [4, 10, 15, 17, 19, 35, 37, 39, 71], oder die eine Leistungssteigerung nach Elektrolyt-Gabe feststellten [5, 28, 29, 38, 47, 48, 78].

In diesem Zusammenhang versucht die vorliegende Arbeit, einen Beitrag zur Beantwortung der Frage nach der Effizienz einer Elektrolyt-Substitution über längere Zeit zu leisten.

B. METHODIK UND VERSUCHSPLANUNG

1. GESAMT-KONZEPT

1.1. Allgemeines:

Diese Studie wurde konzipiert als prospektive Beobachtungsstudie einer 4-wöchigen Trainingsphase an einer Gruppe von jugendlichen Langstreckenläufern, wobei sowohl kurzfristige Veränderungen während einer Ausdauerbelastung, als auch mögliche längerfristige Auswirkungen untersucht werden sollten. Letztere Fragestellung steht in engem Zusammenhang mit der Einnahme von Elektrolyt-Präparaten, wie sie die beteiligten Sportler für einen bestimmten Zeitraum der Studie zu sich nahmen. Es wurden insgesamt 3 Langstreckenläufe mit unmittelbar folgender Untersuchung (Blutentnahme etc.) durchgeführt.

1.2. Untersuchte Sportler:

An der Studie nahmen insgesamt 19 Langstreckenläufer teil, davon waren zum Zeitpunkt der Untersuchung 17 Teilnehmer noch jugendlich (4 weibliche und 13 männliche Sportler). Das Alter lag zwischen 14 und 19 Jahren, wobei das Durchschnittsalter 16,2 Jahre betrug. Hinzu kamen die beiden Trainer der Jugendlichen, 38 bzw. 46 Jahre alt.

Alle beteiligten Sportler betreiben den Ausdauersport leistungsmäßig, im Winter durch Teilnahme an Skilanglauf-Rennen, im Sommer und Herbst durch Beteiligung an Langstreckenläufen, Bergläufen und Straßenradrennen. Im Sommertraining - während dem die vorliegende Studie durchgeführt wurde - trainieren sie täglich, entweder 60 - 80 Minuten Waldlauf (ca. 12 Km) in hügeligem Gelände (Teststrecke der Studie!), oder 2 Stunden Rennradfahren (70 - 80 Km). Alle Teilnehmer der Studie standen zum Zeitpunkt der Untersuchungen schon seit mehreren Jahren im Ausdauertraining.

Vor Beginn der Studie wurden alle Sportler mit einem Fragebogen auf durchgemachte bzw. bestehende Vorerkrankungen und Beschwerden befragt, sowie körperlich durchuntersucht. Dabei ergab sich kein positiver Befund, außer bei einem Jugendlichen, bei dem anamnestisch ein rheumatisches Fieber zwei Jahre zuvor zu erheben war und der seither unter einer Dauertherapie mit einem Oral-Penicillin stand.

1.3. Zeitlicher Ablauf der Studie:

Insgesamt umfaßt die Studie einen Zeitraum von 4 Wochen. In dieser Zeit wurden vier Untersuchungen (Blutentnahmen, Gewichtskontrollen) durchgeführt.

Die erste Untersuchung, die unter Ruhebedingungen in der Klinik stattfand, diente dazu, einen Ausgangswert (A) zu erhalten, mit dem alle nachfolgenden Untersuchungswerte, die jeweils nach Laufbelastung gewonnen wurden, verglichen werden sollten.

In den darauffolgenden 4 Wochen fanden dann drei Langstreckenläufe unter Wettkampfbedingungen auf dem regulären Trainingsgelände der Sportler mit anschließender Untersuchung statt (Streckenlänge ca. 12 Km, Dauer der Belastung zwischen 50 und 70 Minuten). Damit sollten nicht nur kurzfristige Veränderungen im Rahmen eines Laufes erfaßt werden, sondern auch mögliche längerfristige Auswirkungen während der Zeit der Elektrolyt-Substitution untersucht werden. Die Läufe fanden eine, zwei und vier Wochen nach Erhebung der Ausgangsruhwerte statt, also am 8., 15. und 29. Tag der Studie. Zwischen erstem und zweitem Lauf lagen demnach 1 Woche, zwischen zweitem und drittem Lauf 2 Wochen.

Elektrolyt-Präparate wurden ab dem 9. Tag verabreicht, sodaß der zweite und dritte Lauf (bzw. die Untersuchungen) während des Zeitraums der Elektrolyt-Substitution stattfanden. Die dabei gewonnenen Ergebnisse konnten somit sowohl mit den Ausgangsruhwerten verglichen werden, als auch mit den nach dem ersten Lauf gewonnenen Belastungswerten; schließlich ergab sich eine Vergleichsmöglichkeit zwischen den nach dem zweiten und dritten Lauf - also während der Elektrolyt-Substitution - gewonnenen Belastungswerten.

In der Zeit vor dem ersten Lauf nahmen die Sportler keinerlei Elektrolyt-Präparate zu sich.

Zusammenfassend ist der zeitliche Ablauf der Studie in Abbildung 1 nochmals graphisch dargestellt:

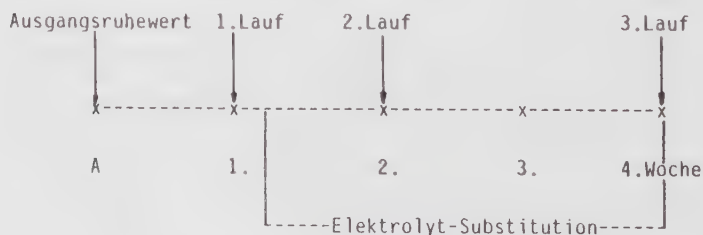


Abbildung 1: Zeitlicher Ablauf der Studie

1.4. Lauf-Strecke:

Als Laufstrecke wurde ein Rundkurs in hügeligem Gelände nahe des Ortes Glonn bei München ausgewählt. Auf diesem Kurs absolvierten die Sportler sonst ihr Waldlauftraining.

Die Länge betrug 5850 Meter; diese Strecke mußte zweimal durchlaufen werden, sodaß die Gesamtdistanz etwa 12 Kilometer betrug. Dabei hatten die Teilnehmer Steigungen mit einer Höhendifferenz von insgesamt 182 Meter zu bewältigen.

Die durchschnittlich benötigte Laufzeit lag bei etwa 58 Minuten, wobei die schnellste Zeit aller 3 Läufe 49:25 Minuten betrug, die langsamste 71:00 Minuten.

Das Profil der Laufstrecke ist in Abbildung 2 wiedergegeben:

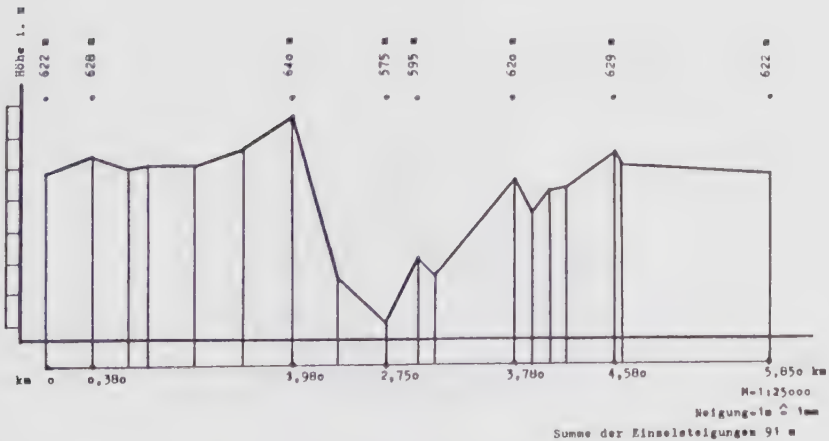


Abbildung 2: Streckenprofil mit Angabe der Gesamtlänge (km) und der Höhendifferenzen (m).

1.5. Ziel-Parameter:

Das Untersuchungsprogramm umfaßte im wesentlichen zwei Schwerpunkte:

a) Hämatologische Größen:

- Erythrozytenzahl (Ery)
- Hämoglobin (Hb)
- Hämatokrit (Hkt)
- Mittleres Zellvolumen (MCV)

Hierbei sollten insbesondere rheologische Veränderungen (Hämato-krit!), sowie eventuelle Zusammenhänge mit Änderungen im Wasser- und Elektrolythaushalt beobachtet werden.

b) Parameter des Wasser- und Elektrolythaushaltes:

- Körpergewicht (als eng mit dem
Gesamt-Körperwasser
korrelierende Größe)
- Elektrolyte im Vollblut, Erythrozyt,
Serum und Urin:
 - * Natrium (Na)
 - * Kalium (Ka)
 - * Calcium (Ca)
 - * Magnesium (Mg)
 - * Eisen (Fe)
 - * Zink (Zn)
 - * Kupfer (Cu)
 - * Chlorid (Cl)

Die Elektrolyt-Konzentrationen im Erythrozyten ermöglicht dabei Rück-schlüsse auf intrazelluläre Elektrolyt-Konzentrationen, z.B. in der Muskel-zelle [13, 31, 53, 66, 74, 77].

Siehe dazu auch: "Diskussion der Elektrolyt-Veränderungen" (Seite 70)

Schließlich wurden noch zur Bestimmung vorgesehen:

- Gesamt-Eiweiß
- Kreatinin

Weitere vorgesehene Untersuchungen, wie Bestimmung der Elektrolyt-Kon-zentrationen im Schweiß oder die Messung der Herzfrequenzen, kamen auf-grund technischer Probleme bei der Durchführung nicht zustande.

1.6. Elektrolyt-Präparate:

Die 19 Sportler erhielten 3 Elektrolyt-Präparate randomisiert zuge-
teilt. Daraus ergaben sich 3 Gruppen: $n_1=7$, $n_2=6$, $n_3=6$; auf eine Kon-
trollgruppe (ohne Einnahme von Elektrolyt-Präparaten) mußte aus ethi-
schen Gründen verzichtet werden; siehe dazu: "Ethische Fragestellungen"
(Seite 8).

Folgende Elektrolyt-Präparate wurden von den Teilnehmern über einen
Zeitraum von 3 Wochen eingenommen:

- Gruppe I ($n=7$) erhielt ein Präparat in Dragee-Form (INZELLOVAL[®] *)
----- mit täglich:
920 mg Kalium-Aspartat
920 mg Magnesium-Aspartat
120 mg Eisen-Aspartat
20 mg Kobalt-Aspartat
20 mg Mangan-Aspartat
20 mg Zink-Aspartat
20 mg Kupfer-Aspartat
Dieses Präparat wurde auf zwei Tagesdosen zu je zwei
Dragees aufgeteilt.
- Gruppe II ($n=6$) nahm ein Elektrolyt-Getränk (CHAMP[®] **)
----- zu sich, und zwar über den Tag verteilt
1 Liter, worin enthalten sind:
1800 mg Natrium
1550 mg Kalium
160 mg Calcium
285 mg Chlorid
zusätzlich: 78 Gramm Kohlenhydrate
- Gruppe III ($n=6$) nahm ein anderes Elektrolyt-Getränk ein
----- (PFRIMMER[®] ***), 0,5 Liter pro Tag,
mit folgender Zusammensetzung:
460 mg Natrium
115 mg Kalium
12 mg Magnesium
20 mg Calcium
530 mg Chlorid
110 mg Phosphat
zusätzlich: 20 Gramm Kohlenhydrate

* Fa. Dr. Franz Köhler-Chemie, Alsbach/Bergstraße

** Fa. Appel, Bad Filbel

*** Fa. J. Pfrimmer + Co. Erlangen Pharmazeutische Werke

Diese 3 Elektrolyt-Präparate wurden von den beteiligten Sportlern über einen Zeitraum von 3 Wochen eingenommen, beginnend am Tag nach der ersten Laufbelastung (im Anschluß an die diesem Lauf folgenden 24-stündigen Urin-Sammelperiode), bis einschließlich einen Tag nach der dritten Laufbelastung (dem Ende der letzten Urin-Sammelperiode).
Sonst nahm keiner der Läufer während der Dauer dieser Studie andere Mineral- oder Elektrolytpräparate zu sich.

Eine Liste der Sportler mit der randomisierten Zuteilung der Elektrolyt-Präparate ist im Anhang dieser Arbeit wiedergegeben (Anhang Nr. 1).

1.7. Ethische Fragestellungen:

Zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie war ein großer Teil der Sportler noch nicht volljährig (14 von 19). Deshalb wurde ein Informationsblatt an die Eltern verschickt und im gleichen Zusammenhang eine Einverständniserklärung zur Teilnahme des Sohnes bzw. der Tochter erbeten. Eine solche Erklärung lag bei Versuchsbeginn für alle betreffenden Jugendlichen vor.

Darüberhinaus erhielten alle Teilnehmer eine "Probanden-Information", mit der sie genauestens über Inhalt, Ziele und Zeitablauf der Studie informiert wurden.

Im Zusammenhang mit dieser Information zeigte es sich, daß etliche der beteiligten Sportler nicht bereit waren bzw. deren Eltern es nicht zuließen, für die Dauer von 4 Wochen auf jegliche Einnahme von Elektrolyten zu verzichten: bei der hohen Intensität des Trainings wurde zumindest eine zeitweise Einnahme von Elektrolyt-Präparaten als notwendig erachtet.

Somit wurde auf die in der ursprünglichen Planung der Studie vorgesehene Kontrollgruppe (Gruppe ohne Einnahme von Elektrolyten oder eventuelle Placebo-Gruppe) ganz verzichtet.

Zur Problematik des Fehlens einer internen Kontrollgruppe siehe: "Diskussion der Methodik" (Seite 62).

1.8. Organisatorische Fragen:

Die vorliegende Studie bedingte einen großen zeitlichen, materiellen und personellen Aufwand an Planung und organisatorischer Durchführung. Die Planungsphase bis zum Beginn der Untersuchungen nahm 3 Monate in Anspruch.

Das Trainingsgelände, auf dem die 3 Langstreckenläufe stattfanden, liegt ca. 30 Kilometer außerhalb unserer Klinik, östlich von München. Alle notwendigen Untersuchungsgeräte bzw. -materialien (u.a. eine Groß-Zentrifuge) wurden an Ort und Stelle transportiert. Dazu stand ein Sanitätsfahrzeug und ein Großraumbus der Feuerwehr zur Verfügung, letzterer auch deswegen, um bei eventuellem Regenwetter die Blutentnahme im Fahrzeug durchführen zu können.

An der Durchführung der Untersuchungen selbst (Blutentnahmen, Gewichtskontrollen, Zeitnahme etc.) waren insgesamt 6 Personen beteiligt: 3 Ärzte, 2 medizinisch-technische Assistentinnen und ein Doktorand. Diese Zahl war allerdings nicht ausreichend, um auch vor dem jeweiligen Lauf die gleichen Untersuchungen durchzuführen, da speziell nach den Blutentnahmen die nachfolgende sofortige Bearbeitung des Blutes - Zentrifugieren, Fraktionieren, Kühlung in Eiswasser, Transport in die Klinik zur Einfrierung bzw. umgehenden Durchführung der Analysen - 3 Personen für längere Zeit in Anspruch nahm. Aus diesem Grund mußte eine Beschränkung auf die Untersuchungen während (Zeitnahme) und nach (Blutentnahme) den Läufen erfolgen. Zur Problematik des Fehlens von unmittelbar vor den Belastungen gewonnenen Ausgangswerten siehe: "Diskussion der Methodik" (Seite 62).

Eine Ausnahme bildete die Messung des Körpergewichtes: dieses wurde vor und nach der jeweiligen Lauf-Belastung kontrolliert.

2. VERSUCHSABLAUF - DURCHFÜHRUNG

2.1. Praktische Aspekte:

Die 3 Läufe begannen jeweils zu der sonst üblichen Trainingszeit der Sportler, um 17:00 Uhr. Unmittelbar vor dem Start wurde das Körpergewicht mit einer geeichten Personenwaage gemessen. Anschließend gingen alle Läufer gleichzeitig auf die Strecke.

An den Versuchstagen herrschten folgende Witterungsbedingungen:

1. Lauf: bedeckt Temperatur: 15° Celsius

2. Lauf: leicht bewölkt Temperatur: 21° Celsius

3. Lauf: wolkenlos Temperatur: 25° Celsius

Jeder Teilnehmer trug während der Läufe die gleiche Startnummer, die identisch war mit seiner jeweiligen Versuchsnummer. Außerdem wurden alle verwendeten Untersuchungsmaterialien, wie Blutabnahme-Spritzen, Blutröhrchen, Urinflaschen etc., mit dieser "persönlichen" Nummer versehen. Auf diese Weise konnten Verzögerungen im Versuchsablauf und Verwechslungen vermieden werden.

Die Blutentnahme erfolgte unmittelbar nach Beendigung des Laufes. Danach wurde wiederum das Körpergewicht kontrolliert.

Die Sammlung des Urines erfolgte über 24 Stunden bis am darauffolgenden Tag um 17:00 Uhr. Alle Teilnehmer hatten vor dem Start des Laufes die Blase entleert.

2.2. Besonderheiten der Durchführung:

Der 1. Lauf wurde von 18 der 19 Teilnehmer vollständig absolviert, ein Läufer (aus der CHAMP* - Gruppe) beendete ihn vorzeitig.

Der 2. und 3. Lauf wurde von allen 19 Teilnehmern regulär beendet.

Während der Läufe nahmen die Teilnehmer keinerlei Flüssigkeiten zu sich.

3. ABNAHME UND VERARBEITUNG DER BLUT- UND URIN-PROBEN:

Alle Blut-Proben wurden grundsätzlich nur in elektrolytfreien Kunststoffröhrchen bzw. -gefäßen abgenommen, verarbeitet und aufbewahrt.

Die Blutentnahme selbst erfolgte durch Abtropfen aus der vena cubitalis (pro Teilnehmer etwa 35 ml).

5 ml wurden in einem mit Ammonium-EDTA speziell für die Bestimmung der hämatologischen Parameter Hb, Hkt, Erys und MCV vorgesehenen Kunststoffröhrchen (Fa. Sarstedt) aufgefangen. Der Rest verteilte sich auf 3 große Röhrchen zu je 10 ml. Davon wurde eines zur Bestimmung der Elektrolyt-Konzentrationen im Vollblut vorgesehen. Die Stabilisierung des Vollblutes erfolgte im Labor mit 10 mg Ammonium-EDTA pro 5 - 6 ml Vollblut.

Aus den beiden anderen Röhrchen mit Vollblut wurden unmittelbar nach Blutentnahme durch Zentrifugation (10 Minuten bei 8000 Upm) Serumfraktionen angefertigt.

Vollblut und Serumproben wurden danach in speziellen Kühltaschen unverzüglich ins Labor transportiert und dort analysiert bzw. im Kühlschrank bei 2° Celsius bis zur Analyse aufbewahrt.

Die Urinproben wurden am darauffolgenden Tag eingesammelt, ins Labor gebracht und ebenfalls bis zur Bestimmung im Kühlschrank gelagert.

4. ANALYSEN UND BERECHNUNGEN

4.1. Bestimmung von Hämoglobin (Hb), Erythrozyten-Zahl (Erys), Hämatokrit (Hkt) und mittlerem Zellvolumen (MCV):

Die Bestimmung der Erythrozyten-Zahl und des mittleren Zellvolumens erfolgte mit dem Coulter-Counter (Modell S 5) der Fa. Coulter Electronics Ltd.. Aus diesen beiden Parametern konnte dann rechnerisch der Hämatokrit ermittelt werden, gemäß der Formel:

$$\text{Hkt} = \frac{\text{MCV} \times \text{Erys}}{100}$$

Die Hämoglobin-Konzentration wurde photometrisch mit dem Hämoglobinometer der Fa. Coulter Electronics Ltd. bestimmt.

4.2. Elektrolyt-Konzentrationen in Vollblut, Erythrozyt, Serum und 24-Stunden-Urin:

Für die Analysen wurden benötigt: 5 ml Vollblut
 5 ml Serum
 10 ml 24-h-Urin

Alle Kationenanalysen wurden mittels Atomabsorptionsspektralphotometrie (AAS) durchgeführt. Die Natrium- und Kaliumbestimmung erfolgte per Emission, die Analyse von Magnesium, Calcium, Kupfer, Zink und Eisen per Absorption.

Als Gerät wurde das Atomabsorptionsspektrophotometer 240 mark 2 der Fa. Evans Electroselenium Ltd., Halstead, Essex, verwendet.

Chlorid im Serum wurde mittels der merkurimetrischen Chloridtitration (Fa. Merck, Darmstadt) bestimmt. Eine Analyse im Vollblut war allerdings nicht möglich.

Wie schon unter 1.5. angedeutet, ermöglicht der Kationengehalt im Erythrozyten Rückschlüsse auf Konzentrationen innerhalb anderer Zellen (hier: innerhalb der Muskelzellen).

Zu diesem Zweck wurde in vorliegender Arbeit die intraerythrozytären Elektrolyt-Konzentrationen aus den ermittelten Größen Vollblut-Konzentration, Serum-Konzentration und Hämatokrit nach folgender Formel berechnet:

(K = Kationen-Konzentration)

$$K_{\text{Ery}} = \frac{K_{\text{Vollblut}} - (1 - \text{Hkt}) \times K_{\text{Serum}}}{\text{Hkt}}$$

Sie leitet sich ab aus der Berechnung des Kationengehaltes im Vollblut nach Dr. Koufus, Medizinische Universität Den Haag:

$$K_{\text{Vollblut}} = (1 - \text{Hkt}) \times K_{\text{Serum}} + \text{Hkt} \times K_{\text{Ery}}$$

Außerdem ist obige Formel identisch mit der Berechnung nach Mendler: siehe dazu Monographie über: "Die Rolle von Kalium-Magnesium-Aspartat in der operativen Medizin und Intensivtherapie", F.K. Schattauer-Verlag, Stuttgart 1977; oder: "Diagnostik", 10 (1977), 115.

Die Berechnung der Calcium-Konzentration im Erythrozyten war allerdings mit dieser Formel nicht möglich. Ebenso konnte in der Literatur keine Möglichkeit zur Berechnung intrazellulärer Anionen-Konzentrationen (hier: Chlorid) gefunden werden.

4.3. Gesamteiweiß und Kreatinin:

Die Bestimmung der Gesamteiweiß-Konzentration im Serum erfolgte nach der Biuret-Methode (Testset Fa. Boeringer, Mannheim).

Kreatinin im Serum wurde mittels der Methode nach Jaffe bestimmt (Testset der Fa. Boeringer, Mannheim).

5. STATISTISCHE AUSWERTUNG

Die ermittelten Werte wurden computertechnisch ausgewertet, zusammengefaßt und tabelliert. Dazu erfolgte eine Einarbeitung in die Elektronische Datenverarbeitung (EDV).

Aus den gewonnenen Werten errechneten sich der Gesamtmittelwert bzw. die Gruppenmittelwerte und die dazugehörige(n) Standardabweichung(en) nach den Formeln:

$$\bar{X} = \frac{S_x}{n}$$

$$SD_x = \sqrt{\frac{S_x^2 - \frac{S_x^2}{n}}{n - 1}}$$

($\bar{X}$ = Mittelwert, S_x = Summe der Einzelwerte, SD = Standardabweichung, n = Anzahl der Teilnehmer)

Anschließend wurde das gesamte Datenmaterial in deskriptiver Statistik zeichnerisch dargestellt. Diese Darstellung diente vor allem der Hypothesenfindung für die folgende Erstellung einer Teststatistik zur Prüfung auf signifikante Unterschiede.

Zu diesem Zweck wurden zunächst mit einem univariaten Test, der nur eine Einflußgröße berücksichtigt (Einfluß der Belastung auf das Gesamt-Kollektiv ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Medikation), die einzelnen Zeitpunkte der Belastungen gegeneinander getestet. Dazu fand eine Varianzanalyse Anwendung. Weil die Fallzahlen dieser Studie eine Normalverteilung nicht ohne weiteres erwarten ließen, haben wir uns für ein parameterfreies Verfahren entschieden. Aufgrund der Tatsache, daß es sich um abhängige Werte handelt, wurde die RANGVARIANZANALYSE nach FRIEDMANN mit anschließenden multiplen Vergleichen nach WILCOXON und WILCOX eingesetzt. Die entsprechende Statistik wird als F-Wert ausgegeben; die Signifikanzen im multiplen Vergleich des Gesamt-Kollektives wurden zweiseitig aus einer Tabelle entnommen [69].

In einem anschließenden multivariaten statistischen Verfahren wurde der gleichzeitige Einfluß von zwei Zielgrößen (Einfluß der Belastung und der unterschiedlichen Medikation) geprüft. Zu diesem Zweck fand die EINFACHE MULTIVARIATE RANGVARIANZANALYSE nach CHATTERJEE und SEN Anwendung. Die entsprechende Statistik (Signifikanzen) wird als L-Wert ausgegeben für den Unterschied zwischen den einzelnen Belastungszeitpunkten und als H-Wert für Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen. Diese Werte sind annähernd Qui-Quadrat-verteilt und die zugehörigen Signifikanz-Niveaus wurden in entsprechenden L- bzw. H-Wert-Tabellen nachgesehen.

Die statistische Sicherheit und die Irrtumswahrscheinlichkeit ist in der folgenden Tabelle 1 dargelegt:

Irrtumswahrschein- lichkeit (p):	verbale Deutung:	statistische Sicherheit:
> 0,10	nicht signifikant	< 90 %
< 0,10	statistisch auffällig (Hypothesefähig)	> 90 %
< 0,05	signifikant	> 95 %
< 0,01	sehr signifikant	> 99 %
< 0,001	hoch signifikant	> 99,9 %

nach G. Claus, H.Ebner [14]

Tabelle 1: Die gültigen Intervallgrenzen des Signifikanzniveaus

Die Erstellung der Teststatistik dieser Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für medizinische Informationsverarbeitung, Statistik und Biomathematik (I S B) im Klinikum München-Großhadern. Die Teststatistik wurde auf dem HEWLETT-PACKARD-Rechner mit den Programmen des I S B berechnet.

C. ERGEBNISSE UND GRAPHISCHE DARSTELLUNGEN

Bei der folgenden Darlegung der Ergebnisse wurde besonderes Augenmerk auf eine umfassende graphische Darstellung gelegt. Dazu noch einige Erläuterungen:

Die Darstellung erfolgt in zwei Teilen (Schritten). Zunächst werden die Ergebnisse univariat betrachtet, d. h. nur unter Berücksichtigung des Zeitpunktes der Untersuchung (bzw. der Belastung), ohne Berücksichtigung des möglichen Einflusses der Medikation. Dargestellt sind die Mittelwerte des Gesamt-Kollektives. Die entsprechende Statistik (Rangvarianzanalyse nach FRIEDMANN) ist als F - Wert in den Graphiken festgehalten; die zugehörigen multiplen Vergleiche nach WILCOXON und WILCOX sind in der schriftlichen Darlegung der Ergebnisse wiedergegeben.

Als zweiter Schritt erfolgt dann eine multivariate Betrachtung der Ergebnisse unter Berücksichtigung der beiden Einflußfaktoren:

- a) Zeitpunkte bzw. Belastungen
- b) unterschiedliche Gruppen bzw. Medikation

Graphisch dargestellt sind die Mittelwerte der einzelnen Untergruppen. Das jeweils errechnete Signifikanzniveau des angewandten statistischen Verfahrens (Einfache multivariate Rangvarianzanalyse nach CHATTERJEE und SEN) ist in den Graphiken mit den Buchstaben " L " und " H " bezeichnet, wobei gilt:

L = die einzelnen Zeitpunkte betrachtet unter
Berücksichtigung der einzelnen Gruppen
(multivariat getestet) - Einflußgröße 1

H = unterschiedlicher Einfluß der Elektrolyt-
Präparate auf die jeweiligen Gruppen
- Einflußgröße 2

Bei der graphischen Darstellung ist zu beachten, daß die Maßstäbe (Spannweiten) der verschiedenen Ordinaten nicht identisch sind; zum Teil sind sie sogar sehr unterschiedlich. Grund dafür ist die Orientierung am jeweiligen Normalbereich (entnommen den GEIGY-Tabellen [30]), um an diesem Schwankungen besser deutlich machen zu können bzw. die

Auswirkungen der Belastung mit eben diesem Normbereich vergleichen zu können. Dabei wurde bewußt in Kauf genommen, daß in der zeichnerischen Darstellung ein relativ enger Normalbereich (z.B. Chlorid im Serum) und ein breiter Normalbereich (z.B. Chlorid im Urin) über die absoluten Veränderungen der Mittelwerte hinwegtäuschen können (z.B. Chlorid).

Aus diesem Grund sind in den Graphiken zusätzlich die absoluten Differenzen (Δ) der Belastungswerte zum Ausgangsrühewert (= 100 % gesetzt) in Prozent dargestellt.

Zusammenfassende Erläuterung zu den nachfolgenden Abbildungen

Darstellung der Laborparameter (hämatologische Größen, Elektrolyte) in vier Kompartimenten:

- Vollblut
- Erythrozyt
- Serum
- Urin

1.) Mittelwerte des gesamten Kollektives der Sportler zu den Zeitpunkten A, 1., 2. und 4. Woche: (Abbildungen 3 - 13)



Delta - Werte (Δ): Abweichungen in Prozent bezogen auf Ausgangs-
ruhwert (Säule A = 100 %)

F - Wert: Signifikanzniveau der Gesamt-Statistik (A-Säulenver-
gleich und multiple Vergleiche)

Signifikanzniveaus im A - Säulenvergleich:

- * = < 0,1
- ** = < 0,05
- *** = < 0,01
- **** = < 0,001

Für die Signifikanzen der multiplen Vergleiche nach WILCOXON und WILCOX siehe Methodik und Text!

2.) Mittelwerte der 3 Behandlungsgruppen: (Abbildungen 4 a - 11 a)

G r u p p e I (INZELLOVAL®) :



G r u p p e II (CHAMP®) :



G r u p p e III (PFRIMMER®) :



L - Wert: Gesamt-Statistik unter gleichzeitiger Berücksichtigung
von Zeitpunkten und Untergruppen (multivariate Testung)

H - Wert(e): Statistik, die die 3 Gruppen gegeneinander testet
($H_1 - H_4$)

1. HÄMATOLOGISCHE PARAMETER

1.1. Erythrozyten-Zahl (Erys):

Die durchschnittliche Erythrozyten-Zahl aller Sportler betrug unter Ruhebedingungen 5,08 Millionen/ μ l. Verglichen mit diesem Ausgangswert fielen die Erythrozyten nach Belastung (1. und 2. Lauf) nicht signifikant auf ein Mittel von 4,98 Mio/ μ l bzw. 4,97 Mio/ μ l; nach dem 3. Lauf wurden durchschnittlich 4,84 Millionen Erythrozyten im Mikroliter Blut gezählt. Diese Zahl liegt 4,7 % unter dem Ausgangswert und zeigt einen sehr signifikanten Abfall an ($p < 0,01$). Siehe Abbildung 3.

1.2. Hämoglobin (Hb):

Der mittlere Ausgangswert der Hämoglobin-Konzentration betrug 15,33 g%. Im Vergleich dazu lagen die Durchschnittswerte nach dem 1. und 2. Lauf geringfügig höher - 15,49 g% bzw. 15,56 g% -, um nach dem 3. Lauf auf 14,87 g% abzufallen ($p < 0,1$). Siehe dazu Abbildung 3.

1.3. Hämatokrit (Hkt):

Für die Zellbestandteile im Blut ließ sich unter Belastung ein statistisch gesicherter Abfall nachweisen.

Der Ausgangswert unter Ruhebedingungen betrug durchschnittlich 43,4 Vol%, wobei der kleinste Wert bei 38,5 % lag und der größte bei 48,9 %. Nach dem 1. Lauf fiel der Hämatokrit auf ein Mittel von 41,8 Vol% (keine Signifikanz), nach dem 2. Lauf auf 41,7 Vol% (signifikant, $p < 0,05$). Im Anschluß an den 3. Lauf schließlich wurde ein Hämatokrit von durchschnittlich 40,0 Vol% gemessen, ein Wert, der 7,7 % unter dem Ausgangsniveau liegt und im Vergleich dazu einen hochsignifikanten Abfall anzeigt. Auch der Streubereich fiel auf 36,8 - 43,8 Vol% ab.

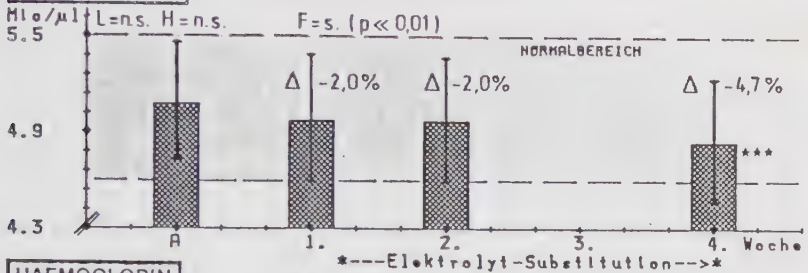
Wie aus Abbildung 3 zu ersehen ist, lag der mittlere Hämatokritwert nach dem 3. Lauf an der unteren Grenze des Normalbereiches.

1.4. Mittleres Zellvolumen (MCV):

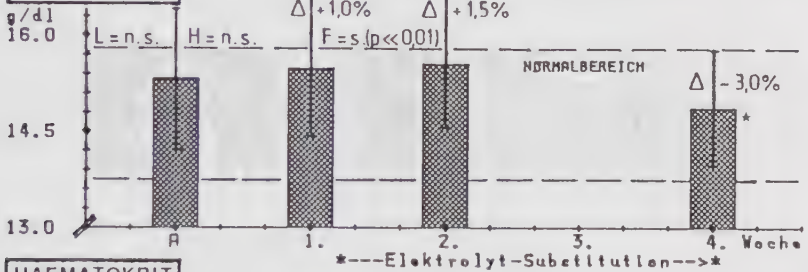
Hierbei zeigten sich zu den vier Meßzeitpunkten nur relativ geringfügige Schwankungen mit insgesamt leicht fallender Tendenz. So stieg im Mittel das MCV vom " Nullwert " 85,0 zunächst auf 85,7 an, fiel dann auf 84,4 nach dem 2. Lauf und signifikant auf 83,7 nach dem 3. Lauf ab (siehe Abb. 3).

BLUTPARAMETER

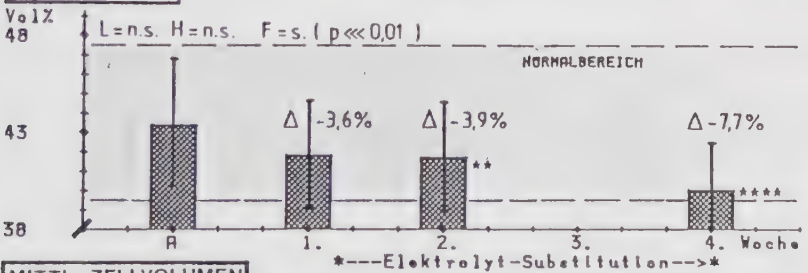
ERYTHROZYTEN



HAEMOGLOBIN



HAEMATOKRIT



MITTL. ZELLVOLUMEN

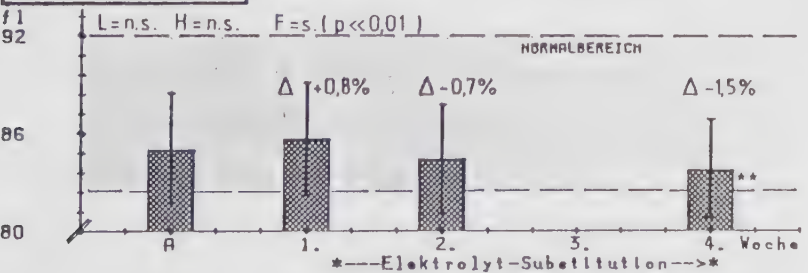


Abbildung 3:

Mittelwerte des Gesamt-Kollektives der Sportler.
(Erläuterungen siehe Seite 19)

2. KÖRPERGEWICHT

In dieser Feldstudie sollte durch die Messung des Körpergewichtes mit einer gewissen Näherung eine Aussage über das Gesamtkörperwasser (ein Indikator des Wasserhaushaltes) ermöglicht werden. Dabei wurde von der Annahme ausgegangen, daß 80 % des unter Belastung auftretenden Körpergewichtsverlustes auf einen Wasserverlust zurückzuführen sind [8]. Nimmt man weiter den Anteil des Wassergewichtes am Körpergewicht mit 60 % an, so läßt sich zusätzlich der Verlust des Körperwassers während des Laufes prozentual gemäß folgender Formel berechnen [8]:

$$\frac{\text{Gewichtsverlust (Kg)} \times 80 \%}{\text{Gewicht vor Belastung (Kg)} \times 60 \%} = \% \text{ Körperwasserverlust}$$

Während der 3 Langstreckenläufe verloren die Teilnehmer zwischen 0,4 und 2,5 Kg an Körpergewicht; der größte Gewichtsverlust zeigte sich im Mittel während des 3. Laufes.

Die Ergebnisse im Einzelnen:

Vor dem 1. Lauf betrug der Mittelwert der Körpergewichte der 19 Teilnehmer 61,7 Kg, nach dem Lauf 60,5 Kg. Der durchschnittliche Gewichtsverlust lag bei 1,2 kg oder 1,89 % des Körpergewichtes, was einem Verlust von 2,5 % des Körperwassers entspricht.

2. Lauf: mittleres Körpergewicht vor Beginn des Laufes: 62,0 Kg; nach Beendigung des Laufes: 60,9 Kg. Dies entspricht einem Gewichtsverlust von im Mittel 1,1 Kg oder 1,83 % des Körpergewichtes (2,4 % des Körperwassers).

3. Lauf: Durchschnittsgewicht vor dem Start: 62,1 Kg; nach dem Lauf: 60,8 Kg. Die Sportler verloren demzufolge 1,3 Kg ihres Körpergewichtes (2,05 %) bzw. im Mittel 2,7 % ihres Körperwassers.

Der Extremfall an Gewichtsverlust eines Sportlers lag bei 2,1 Kg oder 3,2 % (Ausgangsgewicht: 66,2 Kg) während des 3. Laufes. Dieser Teilnehmer verlor ca. 4,2 % seines Körperwassers während der Ausdauerbelastung.

3. ELEKTROLYTE

3.1. N a t r i u m

a) Univariate Betrachtung: Einfluß der Belastung ohne Berücksichtigung der Elektrolyt-Substitution; dargestellt sind die Mittelwerte des Gesamt-Kollektives (Abbildung 4).

- **Vollblut:** Die Natriumkonzentration im Vollblut stieg unter Belastung an, am stärksten während des 3. Laufes, bei dem der Anstieg knapp 7 % zum Ausgangswert betrug und hohe Signifikanz zeigte. Auch die Zunahme nach dem 1. und 2. Lauf war signifikant bzw. sehr signifikant (Abb. 4).

- **Erythrozyt:** Hier ist die deutliche Zunahme der Konzentration nach dem 3. Lauf erwähnenswert, die mit 14,4 % hoch signifikant über dem Ausgangswert und oberhalb des Normalbereiches lag; dagegen ließen sich die Veränderungen nach dem 1. und 2. Lauf nicht statistisch sichern (Abb. 4).

- **Serum:** Die Serumnatriumkonzentration fiel nach dem 1. und 2. Lauf geringfügig ab, um nach dem 3. Lauf bis an die obere Normgrenze anzusteigen (147,7 mmol/l). Dieser Anstieg ist allerdings im Bezug zum Ausgangswert von 142,5 mmol/l "nur" statistisch auffällig ($p < 0,10$), noch nicht signifikant (Abb. 4).

- **Urin:** Die durchschnittliche Natriumausscheidung im 24-Stunden-Urin zeigt einen Abfall nach den Läufen (am deutlichsten nach dem 1. Lauf), ließ sich jedoch nicht statistisch belegen (siehe Abbildung 4).

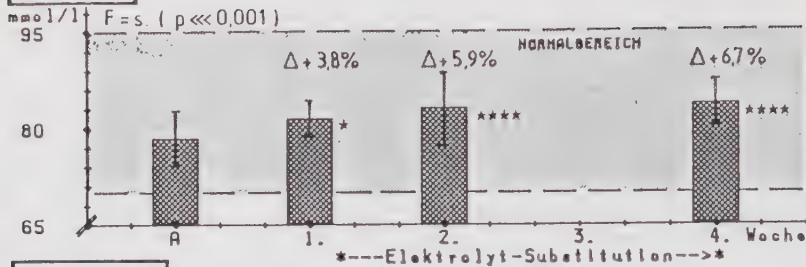
b) Multivariate Betrachtung: Darstellung und Testung unter Berücksichtigung der 2 Einflußgrößen "Zeitpunkte der Belastungen" und "unterschiedliche Gruppen bzw. Medikation"; dargestellt sind die Mittelwerte der 3 Untergruppen (Abbildung 4 a).

Hierbei zeigten sich bei den Gruppen im Verlauf der Studie in der Tendenz die gleichen Schwankungen, die bei den Gesamtmittelwerten gefunden wurden.

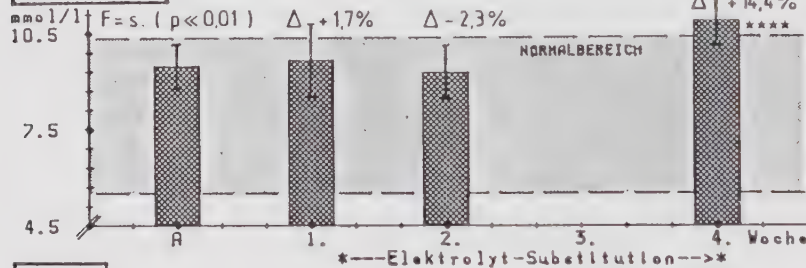
Graphisch angedeutete Unterschiede (Abb. 4 a) ließen sich nicht statistisch belegen, mit der Ausnahme des 3. Laufes, bei dem im Urin die Natriumkonzentration der Gruppe I (INZELLOVAL[®]) statistisch auffällig unter den Konzentrationen der beiden anderen Gruppen lag. Allerdings betrug dabei p noch fast 10 % .

NATRIUM

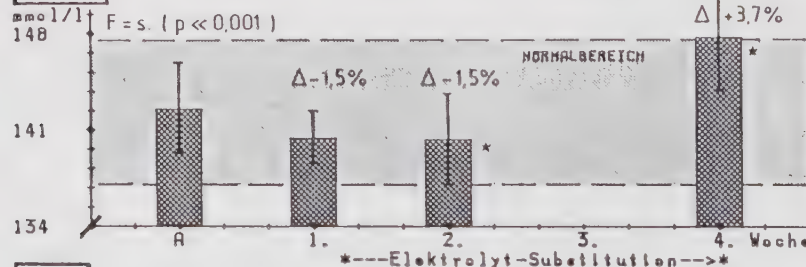
VOLLBLUT



ERYTHROZYT



SERUM



URIN

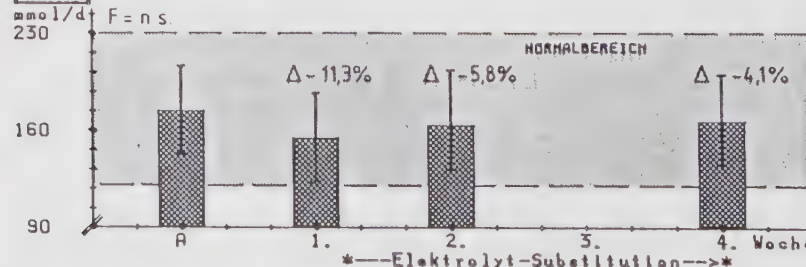
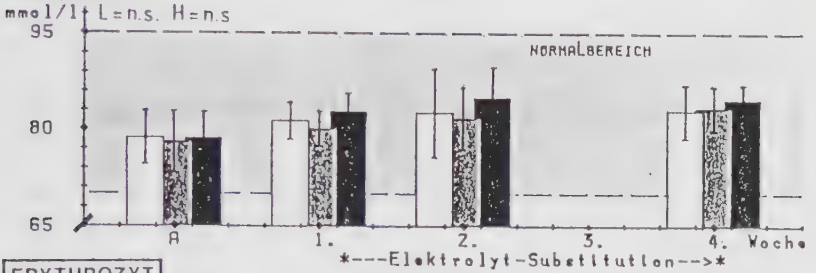


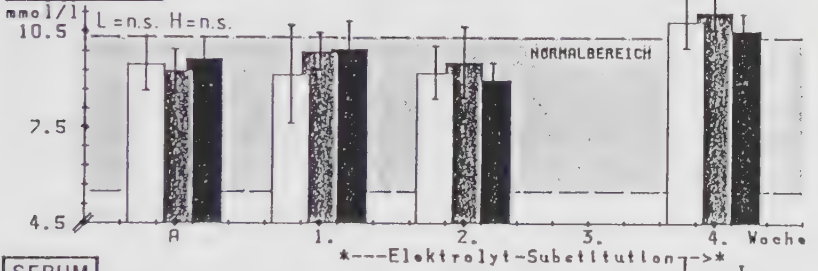
Abbildung 4: Mittelwerte des Gesamt-Kollektives. Erläuterungen s.S.19

NATRIUM

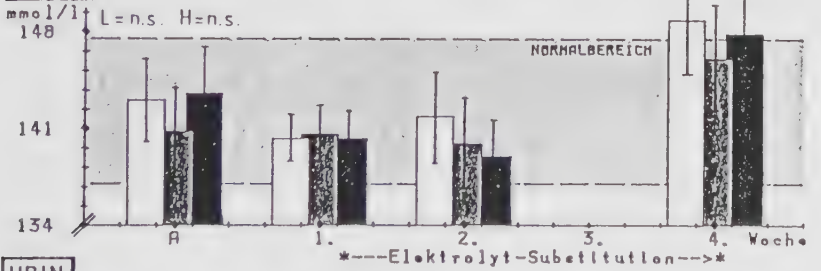
VOLLBLUT



ERYTHROZYT



SERUM



URIN

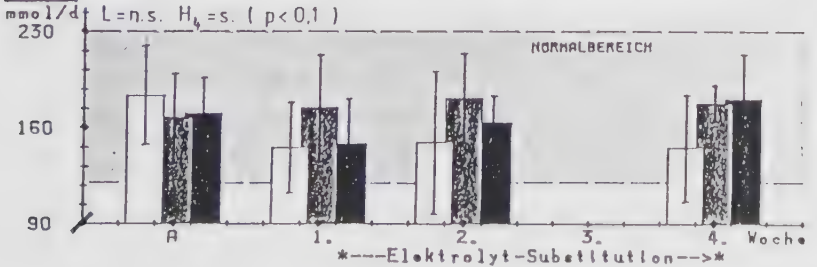


Abbildung 4 a: Mittelwerte der 3 Untergruppen. Erläuterungen s. S. 19

3.2. K a l i u m

a) Univariate Betrachtung: (Gesamt - Mittelwerte, Abbildung 5)

In allen 4 Kompartimenten (Vollblut, Erythrozyt, Serum und Urin) traten lediglich geringfügige Schwankungen auf, die keine Signifikanz zeigten.

Einzig die Kaliumkonzentration im Erythrozyten lag nach dem 3. Lauf mit 106,1 mmol/l hoch signifikant (Irrtumswahrscheinlichkeit unter 0,1 %) über dem Ausgangswert von 99,2 mmol/l.

Im Urin zeigte sich ein Rückgang der in 24 Stunden ausgeschiedenen Kaliummengen, insbesondere nach dem 2. Lauf. Dieser Rückgang ließ sich jedoch nicht statistisch verifizieren. Siehe Abbildung 5.

b) Multivariate Betrachtung: (Gruppenmittelwerte gegeneinander, Abbildung 5 a)

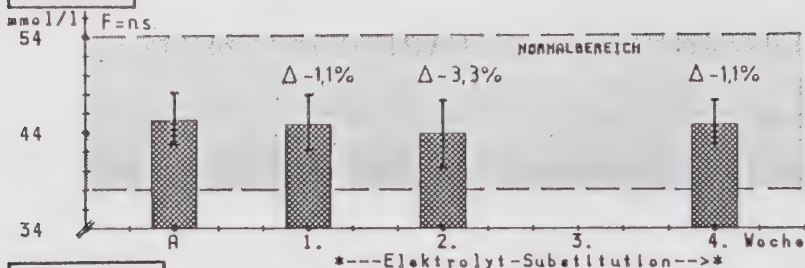
Hierbei zeigten sich im Verlauf der Studie ebenfalls nur geringfügige Unterschiede zwischen den 3 Gruppen.

Nur im Serum lag nach dem 3. Lauf die mittlere Kaliumkonzentration der Gruppe II (CHAMP[®]) statistisch auffällig ($p < 0,10$) unterhalb den Konzentrationen der beiden anderen Gruppen (siehe Abbildung 5 a).

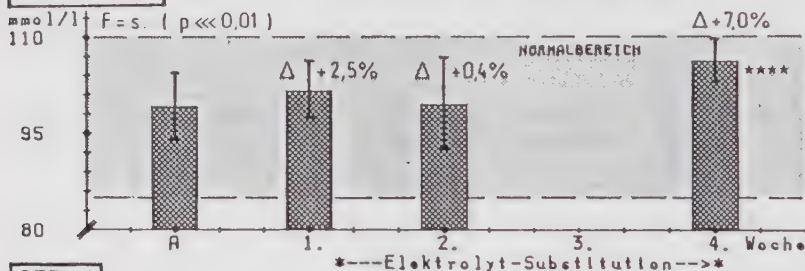
Eine aufgrund der graphischen Darstellung im Urin zu vermutende Unterschiedlichkeit der Gruppe III (PFRIMMER[®]) zu den beiden anderen Gruppen ließ sich - bedingt durch eine große Schwankungsbreite der Einzelergebnisse - nicht signifikant belegen (Abb. 5 a).

KALIUM

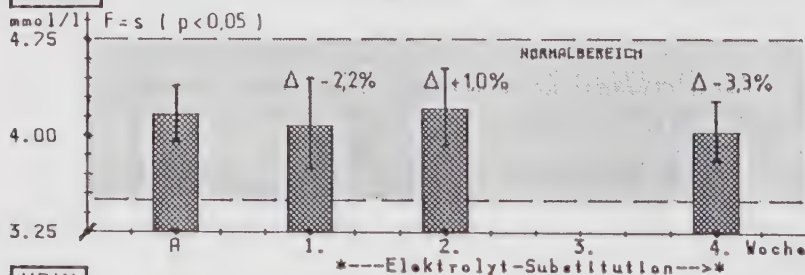
VOLLBLUT



ERYTHROZYT



SERUM



URIN

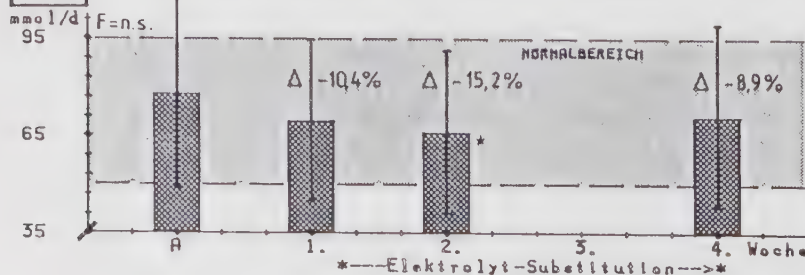
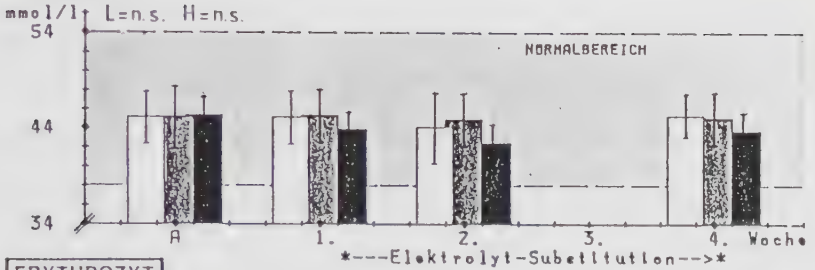


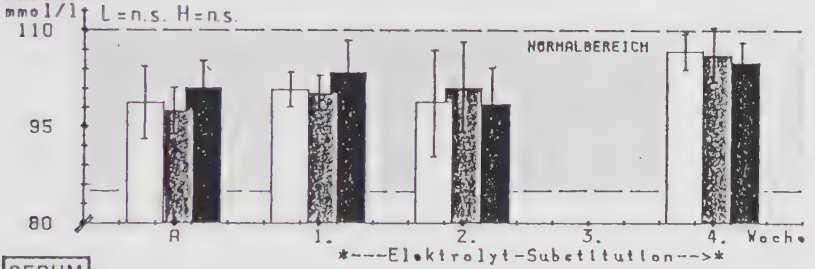
Abbildung 5: Mittelwerte des Gesamt-Kollektives. Erläuterungen s.S.19

KALIUM

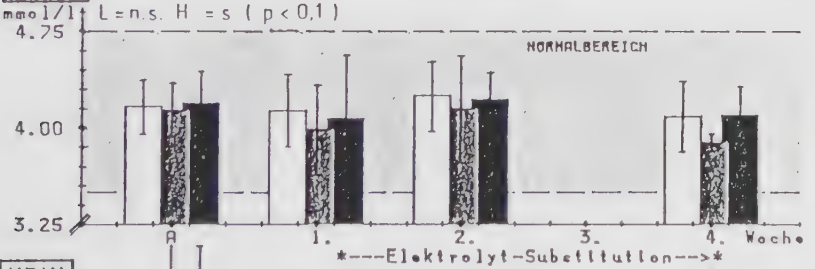
VOLLBLUT



ERYTHROZYT



SERUM



URIN

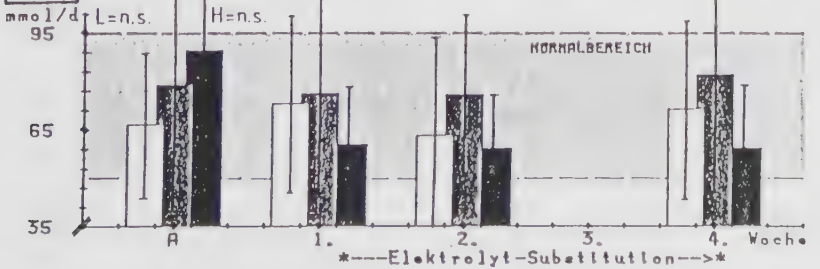


Abbildung 5 a: Mittelwerte der 3 Untergruppen. Erläuterungen s. S. 19

3.3. Calcium

a) Univariate Betrachtung (Gesamt - Mittelwerte): Abbildung 6

Im Vollblut fiel die mittlere Calcium-Konzentration nach der ersten Belastung (keine Signifikanz) und stieg nach dem 2. Lauf signifikant ($p < 0,01$) an. Verglichen mit dem 1. Lauf ergab sich sogar ein hoch signifikanter Anstieg.

Der Mittelwert nach dem 3. Lauf lag wiederum über dem Ausgangswert, jedoch nicht mit statistischer Sicherheit.

Im Serum traten sehr geringe Schwankungen auf, die in Bezug zum Ruhewert innerhalb $\pm 1\%$ lagen.

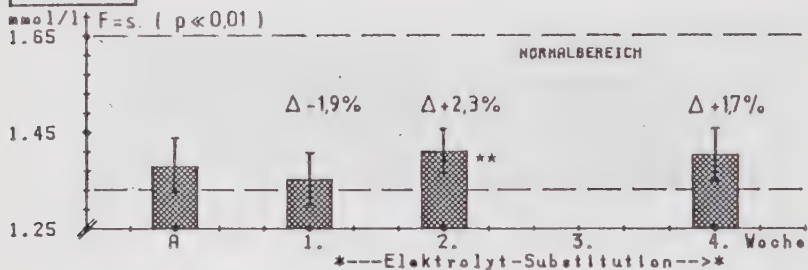
Im Urin zeigte sich ein Abfall der über 24 Stunden ausgeschiedenen Calcium-Menge, insbesondere nach dem 1. Lauf, allerdings ohne Signifikanz.

b) Multivariate Betrachtung: (Gruppenmittelwerte, Abbildung 6 a)

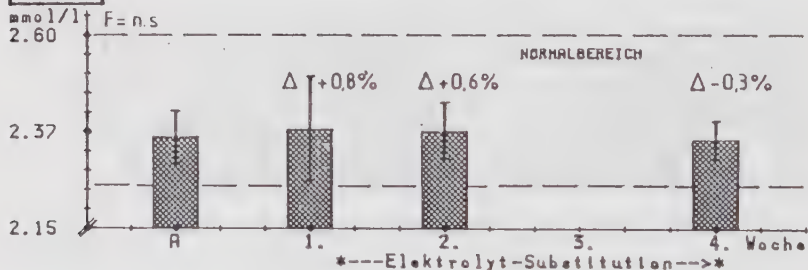
Bei Berücksichtigung der einzelnen Gruppen ließ sich weder im Vollblut oder Serum, noch im Urin eine Unterschiedlichkeit der Mittelwerte statistisch nachweisen, sodaß die Nullhypothese nicht verworfen werden konnte (Abb. 6 a).

CALCIUM

VOLLBLUT



SERUM



URIN

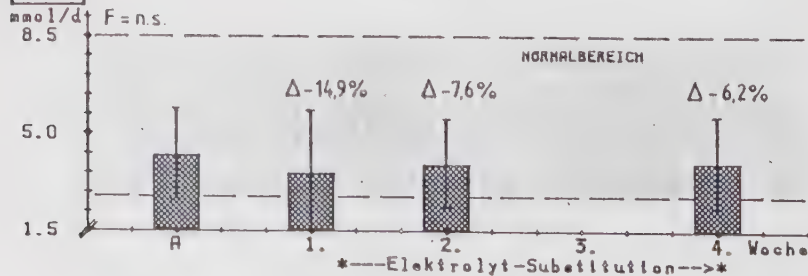
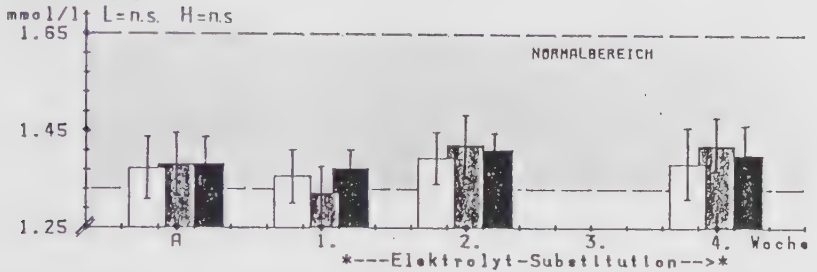


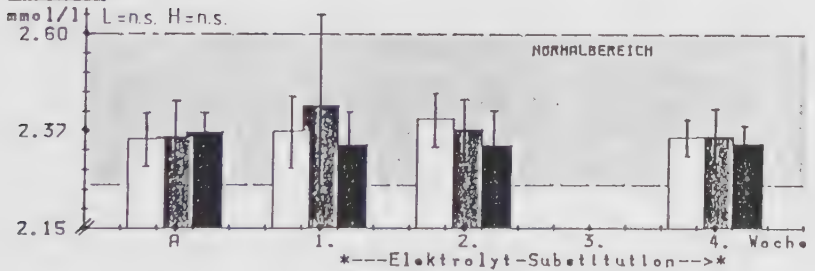
Abbildung 6: Mittelwerte des Gesamt-Kollektives. Erläuterungen s.S.19

CALCIUM

VOLLBLUT



SERUM



URIN

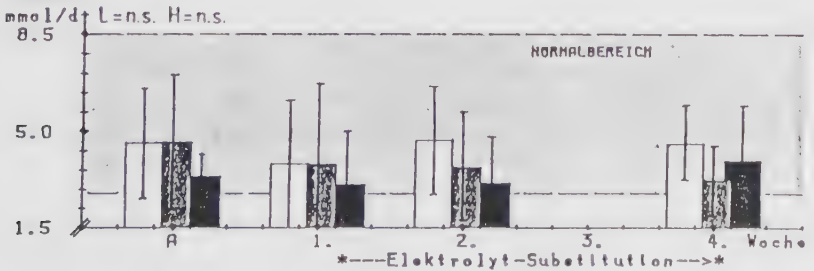


Abbildung 6 a: Mittelwerte der 3 Untergruppen. Erläuterungen s. S. 19

3.4. M a g n e s i u m

a) Univariate Betrachtung: (Gesamt - Mittelwerte, Abbildung 7)

- **Vollblut:** Die Schwankungen der Magnesium-Konzentration im Vollblut lagen in einem engen Bereich. Im Vergleich zum Ausgangsruehwert zeigte sich ein geringer Anstieg nach dem 1. und 2. Lauf, und ein geringer Abfall nach dem 3. Lauf (Abb. 7). Statistisch gesehen ist nur der nach dem 2. Lauf gemessene Wert auffällig - Irrtumswahrscheinlichkeit unter 10 % .

- **Erythrozyt:** Hier ließen sich deutlichere Unterschiede nachweisen. Die Mittelwerte nach Belastung lagen sehr signifikant bzw. sogar hoch signifikant (2. Lauf, 2,31 mmol/l) über dem Ausgangsmittelwert mit 2,15 mmol/l - Abb. 7.

- **Serum:** Im Serum zeigte sich eine einheitlich fallende Tendenz, hochsignifikant nach dem 1. Lauf (0,74 mmol/l gegenüber 0,79 mmol/l), statistisch auffällig nach dem 2. Lauf, und nicht mehr statistisch verifizierbar nach dem 3. Lauf (siehe Abb. 7).

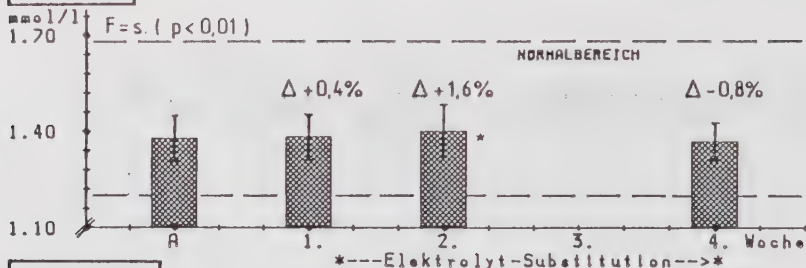
- **Urin:** Die Magnesium-Ausscheidung im Urin über 24 Stunden ging nach den 3 Laufbelastungen um etwa 5 - 8 % zurück (Abb. 7). Diese Abnahme zeigte jedoch in keinem der Fälle Signifikanz.

b) Multivariate Betrachtung: (Gruppen - Mittelwerte, Abbildung 7 a)

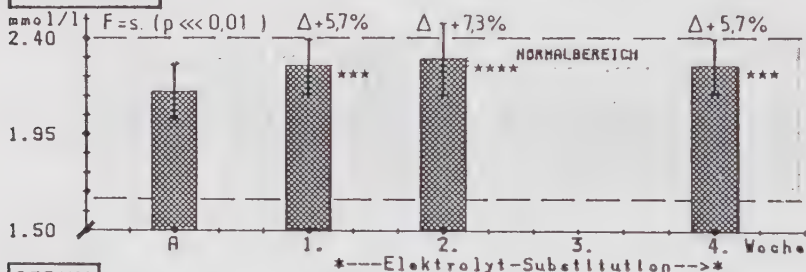
Zu keinem der vier Zeitpunkte konnte innerhalb der Gruppen mit den verschiedenen Elektrolyt-Präparaten ein Unterschied statistisch gesichert werden. Dies gilt gleichermaßen für alle 4 Kompartimente (Vollblut, Erythrozyt, Serum und Urin). Siehe Abbildung 7 a .

MAGNESIUM

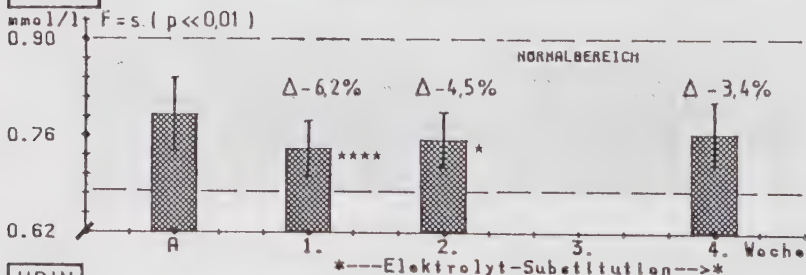
VOLLBLUT



ERYTHROZYT



SERUM



URIN

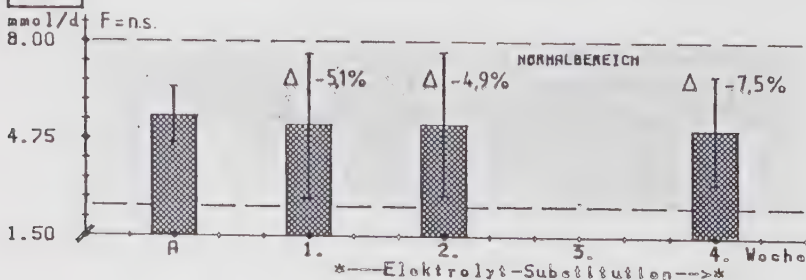
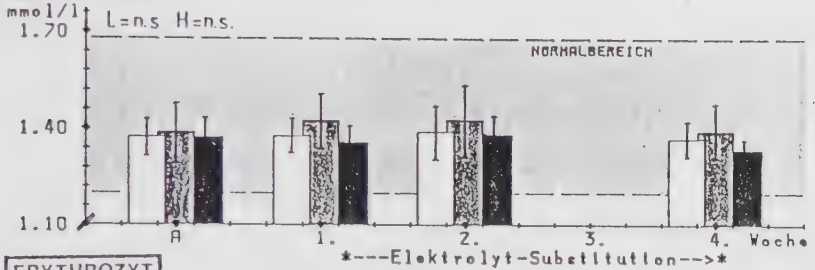


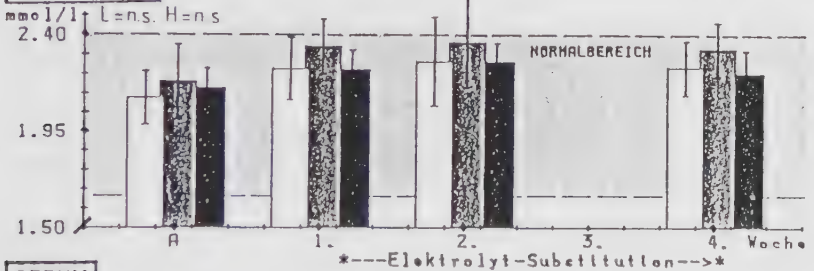
Abbildung 7: Mittelwerte des Gesamt-Kollektives. Erläuterungen s.S.19

MAGNESIUM

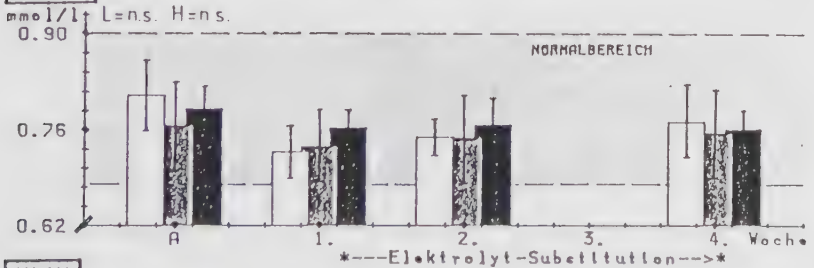
VOLLBLUT



ERYTHROZYT



SERUM



URIN

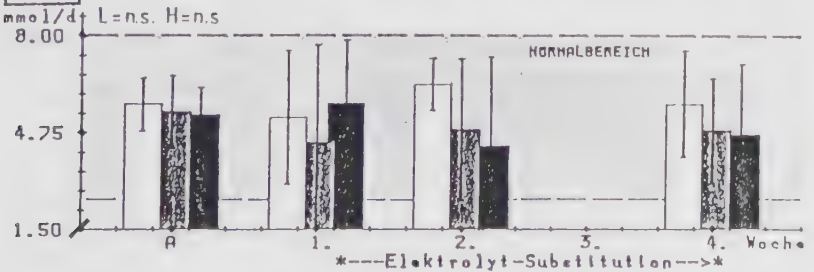


Abbildung 7 a: Mittelwerte der 3 Untergruppen. Erläuterungen s. S. 19

3.5. Eisen

a) Univariate Betrachtung: (Gesamt - Mittelwerte, Abbildung 8)

Die Vollblut-Eisenkonzentrationen blieben zu den vier Entnahmezeitpunkten praktisch konstant (Abb.8).

Intrazellulär (im Erythrozyten) ließ sich ein Anstieg der Eisenkonzentration durch Belastung nachweisen, der nach dem 1. und 2. Lauf statistisch auffällig, nach dem 3. Lauf hoch signifikant (unter 0,1 % Irrtumswahrscheinlichkeit) war: von 20,37 mmol/l auf 21,70 mmol/l - Abb. 8.

Die Serum-Konzentrationen zeigten zwar relativ deutliche Schwankungen (Abb. 8), konnten jedoch nicht statistisch gesichert werden.

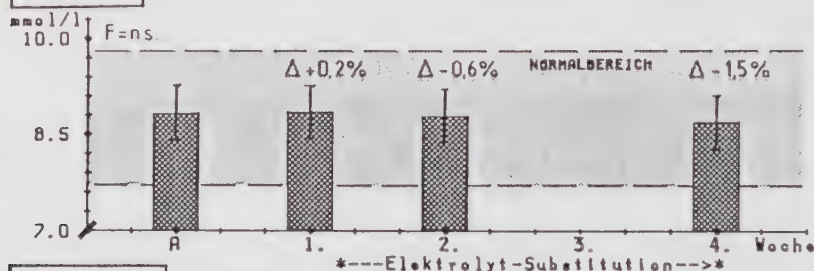
Ähnliches kann für die Ausscheidung im Urin gesagt werden. Obwohl hier die Mittelwerte nach Belastung zum Teil deutlich unter dem Ausgangsrühewert lagen (mehr als 37 % nach dem 2. Lauf), konnte lediglich der Wert nach diesem 2. Lauf als statistisch auffällig bezeichnet werden ($p < 0,10$).

b) Multivariate Betrachtung: (Gruppen - Mittelwerte, Abbildung 8 a)

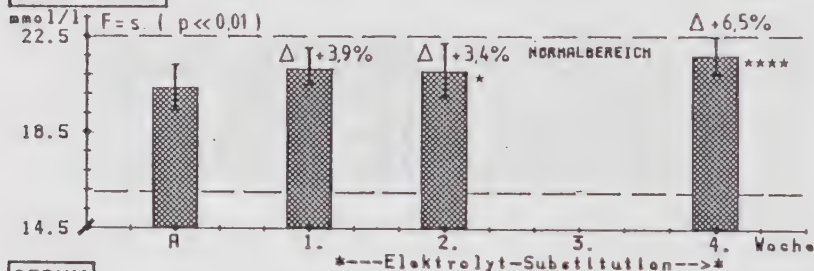
Bei gleichzeitiger Berücksichtigung sowohl der verschiedenen Zeitpunkte der Testung als auch der unterschiedlichen Gruppen ergab sich keine Differenz zwischen den Gruppen, die als signifikant bezeichnet werden konnte (siehe Abbildung 8 a).

EISEN

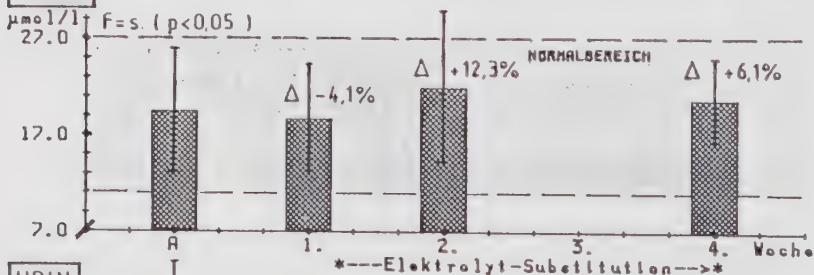
VOLLBLUT



ERYTHROZYT



SERUM



URIN

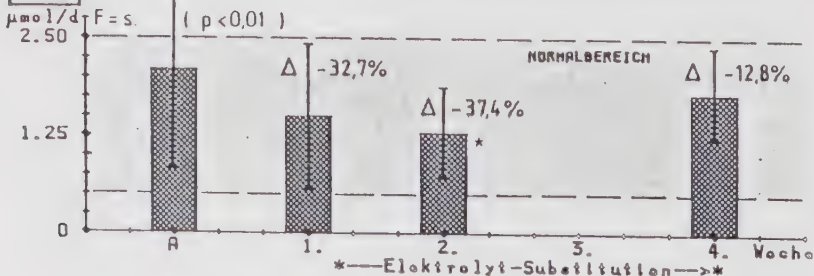
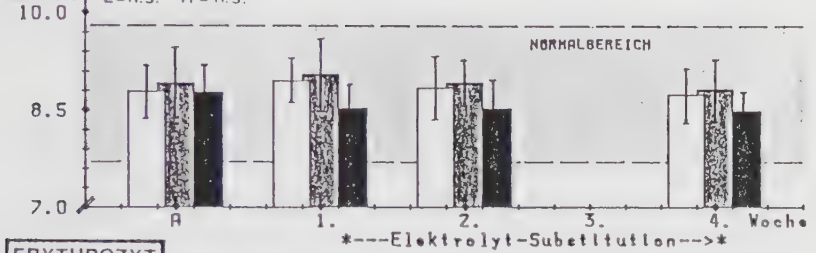


Abbildung 8: Mittelwerte des Gesamt-Kollektives. Erläuterungen s.S.19

EISEN

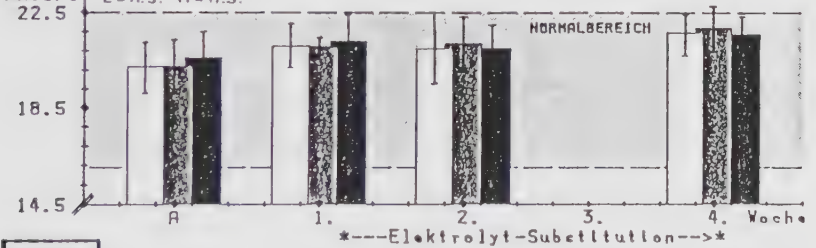
VOLLBLUT

mmol/l L=n.s. H=n.s.



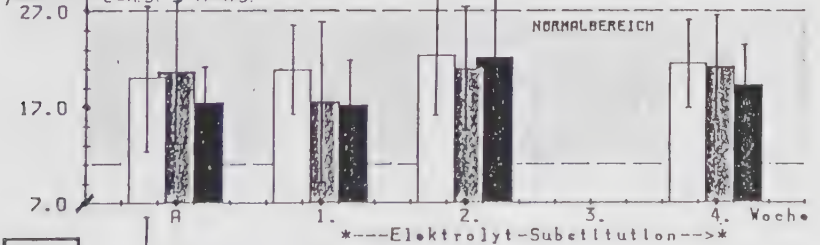
ERYTHROZYT

mmol/l L=n.s. H=n.s.



SERUM

μmol/dl L=n.s. H=n.s.



URIN

μmol/dl L=n.s. H=n.s.

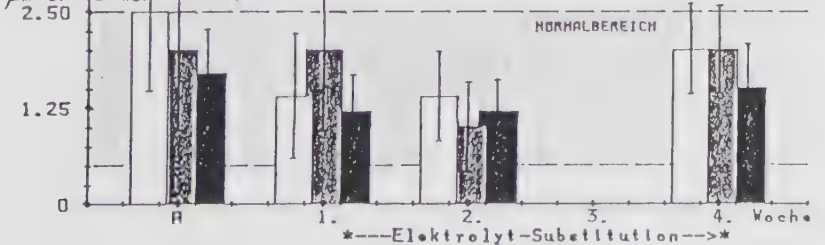


Abbildung 8 a: Mittelwerte der 3 Untergruppen. Erläuterungen s. S. 19

3.6. Z i n k

a) Univariate Betrachtung: (Gesamt - Mittelwerte, Abbildung 9)

- **Vollblut:** Bei der Zinkkonzentration im Vollblut ist bemerkenswert, daß die gemessenen bzw. errechneten Werte alle an der unteren Grenze der Norm (Ausgangswert, 3. Lauf), oder sogar unterhalb des Normalbereiches lagen (1. Lauf, 2. Lauf): siehe Abb. 9 . Die Abnahme der Konzentrationen zeigte keine Signifikanz gegenüber dem Ausgangswert. Die Mittelwerte des 1. und 3. Laufes unterschieden sich dagegen signifikant.

- **Erythrozyt:** Hier kam es nach den ersten beiden Läufen zu einer Abnahme der mittleren Zinkkonzentration, dagegen nach dem 3. Lauf zu einem deutlichen, hoch signifikanten Anstieg (siehe Abb. 9). Dieser Mittelwert unterschied sich statistisch auch sehr deutlich von den Mittelwerten des 1. und 2. Laufes: Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 0,1 % .

- **Serum:** Auffallend waren bei den Zinkserumkonzentrationen die gegensätzlichen Schwankungen. So fand sich nach der 1. Laufbelastung eine signifikante Zunahme (knapp 17 % über dem Ausgangswert), dagegen kam es nach dem 2. und 3. Lauf zu einer prozentual gesehen relativ deutlichen Abnahme der Konzentration (Abb. 9), die allerdings im ersten Fall keine Signifikanz zeigte und im zweiten Fall nur zu einer Hypothese Anlaß gab ($p < 0,10$).

Bemerkenswert ist darüberhinaus - ähnlich wie im Vollblut -, daß die gefundenen Mittelwerte an der Grenze bzw. unterhalb des Normalbereiches lagen.

- **Urin:** Die im Anschluß an die 3 Läufe in 24 Stunden ausgeschiedenen Zinkmengen lagen deutlich über dem unter Ruhebedingungen gemessenen Wert, erreichten jedoch - statistisch gesehen - nur nach dem 3. Lauf das auffällige 90 % - Niveau (siehe Abb. 9).

b) Multivariate Betrachtung (Gruppen-Mittelwerte): Abbildung 9 a

Im Vollblut lag die INZELLOVAL[®] - Gruppe zu allen 4 Zeitpunkten signifikant (Ausgangswert, 3. Lauf) bzw. statistisch auffällig (1. Lauf, 2. Lauf) über den beiden Vergleichsgruppen. Da bereits der Ausgangswert diesen gesicherten Unterschied zeigte, läßt sich die Differenz zwischen den Gruppen zu den anderen Zeitpunkten nicht auf den Einfluß eines bestimmten Elektrolyt-Präparates zurückführen.

Ähnliches gilt für die Gegebenheiten im **Erythrozyten**. Auch hier lag die mittlere Zinkkonzentration der INZELLOVAL®- Gruppe signifikant (Ruhewert) bzw. statistisch auffällig (1., 2. und 3. Lauf) über der CHAMP® - und PFRIMMER®- Gruppe.

Im Serum und im Urin ergab sich bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Zeitpunkte der Untersuchungen und der verschiedenen Untergruppen kein Unterschied, der Signifikanz gezeigt hätte (siehe Abb. 9 a).

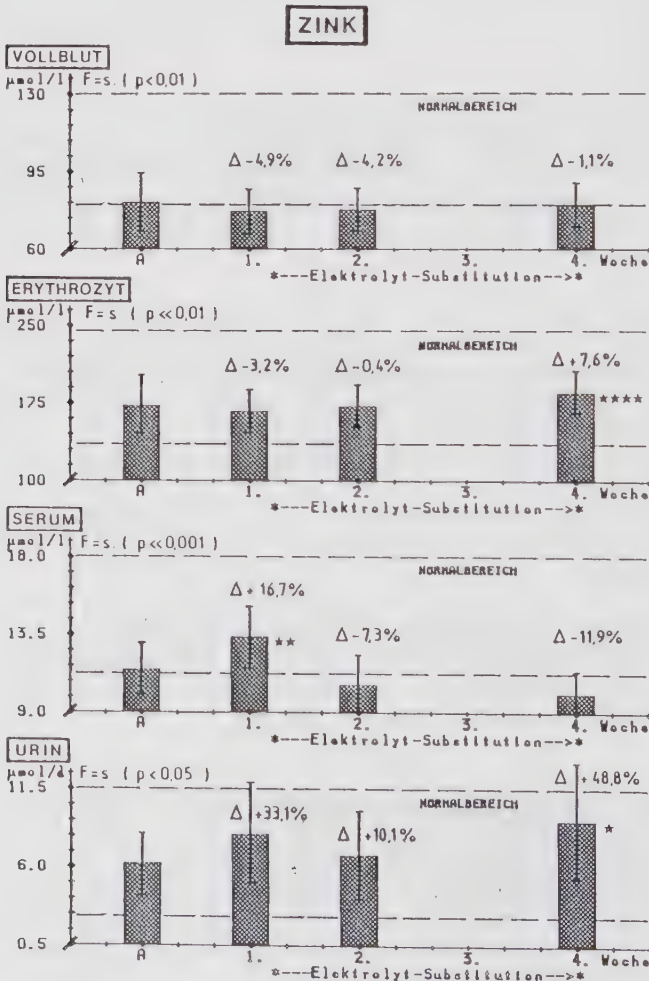
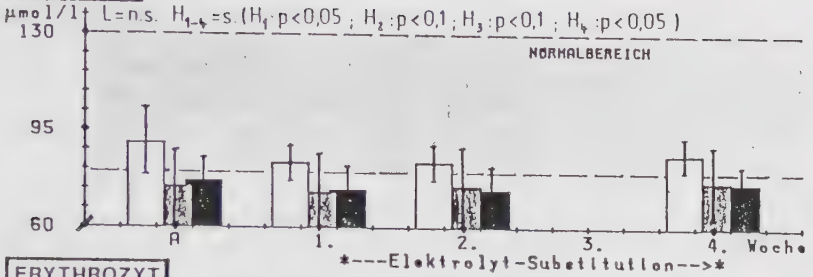


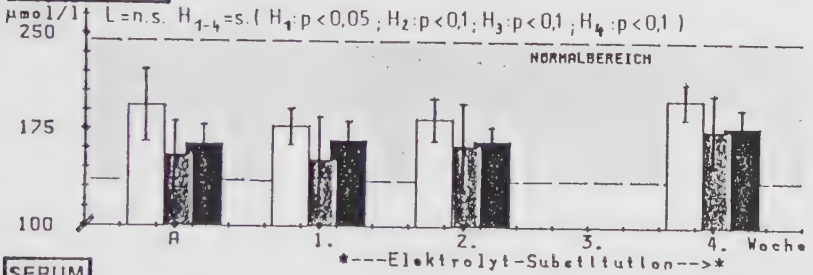
Abbildung 9: Mittelwerte des Gesamt-Kollektives. Erläuterungen s.S.19

ZINK

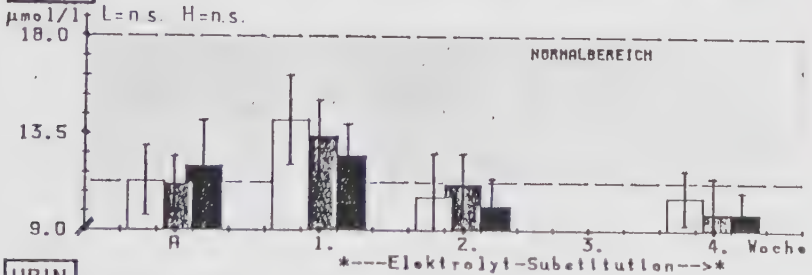
VOLLBLUT



ERYTHROZYT



SERUM



URIN

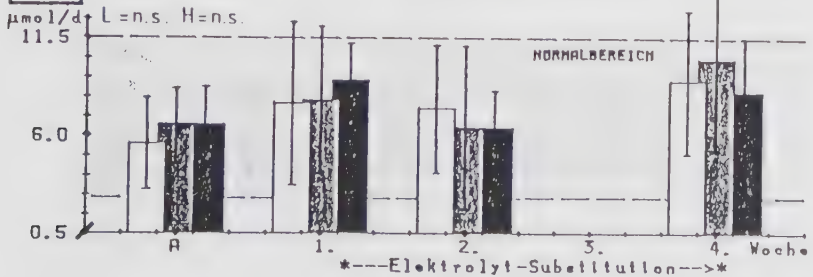


Abbildung 9 a: Mittelwerte der 3 Untergruppen. Erläuterungen s. S. 19

3.7. K u p f e r

a) Univariante Betrachtung: (Gesamt - Mittelwerte, Abbildung 10)

- **Vollblut:** Bei der im Vollblut bestimmten Kupferkonzentration zeigte sich einheitlich ein Abfall infolge der Laufbelastungen, wobei der Mittelwert nach dem 1. Lauf hoch signifikant unter dem Ausgangsrühewert lag, der Wert nach dem 2. Lauf signifikant gefallen war und die Konzentrationsabnahme nach dem 3. Lauf sich nicht mehr statistisch sichern ließ. Bemerkenswert ist weiterhin, daß sowohl der Ausgangswert, als auch die drei folgenden Werte unterhalb des Normalbereiches lagen (siehe Abbildung 10).

- **Erythrozyt:** Auch intrazellulär fiel auf, daß die jeweiligen mittleren Kupferkonzentrationen teilweise sehr deutlich den Normalbereich unterschritten - siehe Abb. 10. Wie schon im Vollblut, zeigte sich eine einheitlich fallende Tendenz, nach dem 1. Lauf sehr signifikant, nach dem 2. und 3. Lauf sogar hoch signifikant.

- **Serum:** Der unter Ruhebedingungen ermittelte Ausgangsrühewert von $12,6 \mu\text{mol/l}$ lag im unteren Normalbereich. Im Vergleich dazu fand sich in der Folge des 1. Laufes ein nicht signifikantes Absinken auf $11,9 \mu\text{mol/l}$. Nach dem 2. und 3. Lauf dagegen wurde eine - jeweils sehr signifikante - Zunahme der Konzentration auf $14,5 \mu\text{mol/l}$ bzw. $14,9 \mu\text{mol/l}$ gemessen. Beide Werte lagen sogar hoch signifikant über dem Wert des 1. Laufes (Abb. 10).

- **Urin:** Die über einen Tag (24 Stunden) im Urin ausgeschiedene Kupfermenge ging nach den Läufen (zum Teil deutlich) zurück: die nach dem 1. Lauf gemessene Menge betrug nur noch etwa 30 % der verglichenen Ausgangsmenge ($p < 0,001$); der Rückgang nach dem 2. und 3. Lauf war wesentlich geringer (siehe Abb. 10) und ließ sich nicht mehr statistisch sichern.

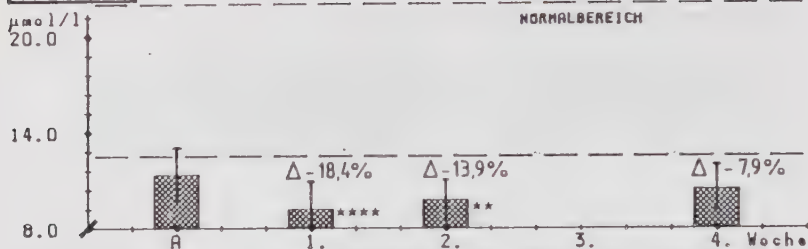
b) Multivariate Betrachtung: (Gruppen - Mittelwerte, Abbildung 10 a)

Bei Berücksichtigung der gruppenspezifischen Elektrolyt- Substitution ließen sich im Vollblut, Serum und Urin keine statistisch nachweisbaren Unterschiede feststellen, weder unter Ruhebedingungen, noch im Zusammenhang mit den 3 Lauf-Belastungen (Abb. 10 a).

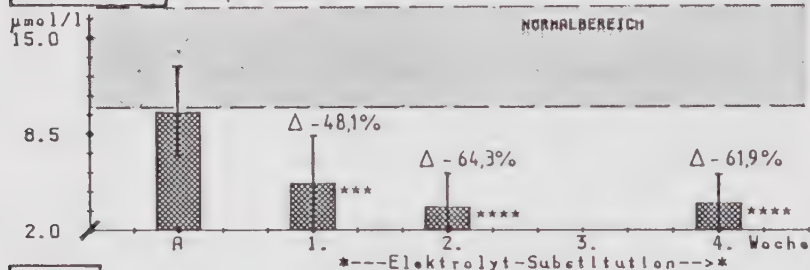
Innerhalb der Erythrozyten zeigte sich in der Folge des 3. Laufes ein statistisch auffälliger Unterschied zwischen der mittleren Kupfer-Konzentration der Gruppe I (INZELLOVAL®) und den Konzentrationen der beiden anderen Gruppen ($p < 0.1$). Siehe Abbildung 10 a! Die Messungen bzw. Berechnungen an den drei vorhergehenden Zeitpunkten erbrachten keinen statistisch gesicherten Unterschied.

KUPFER

VOLLBLUT $F=s (p \ll 0,001)$

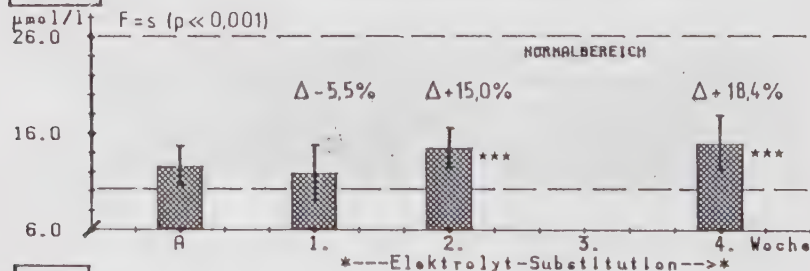


ERYTHROZYT $F=s (p \ll 0,001)$



SERUM

$F=s (p \ll 0,001)$



URIN

$F=s (p \ll 0,001)$

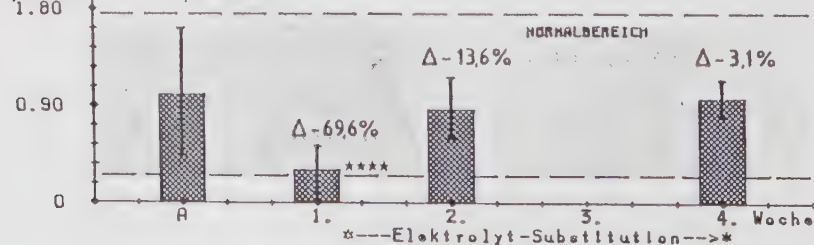
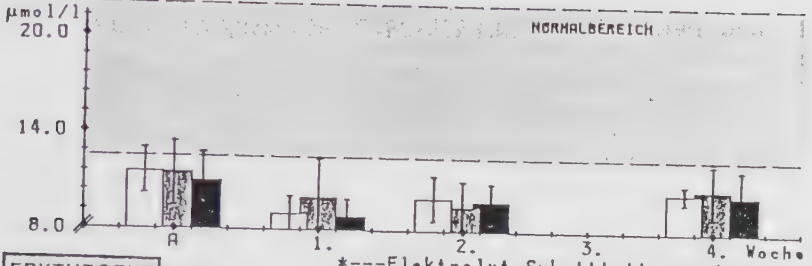


Abbildung 10: Mittelwerte des Gesamt-Kollektives. Erläuterungen s.S.19

KUPFER

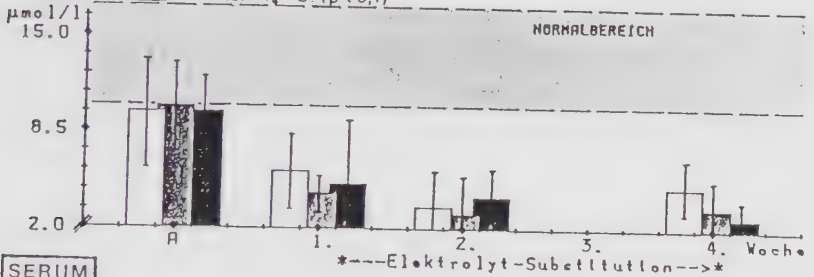
VOLLBLUT

L=n.s. H=n.s.



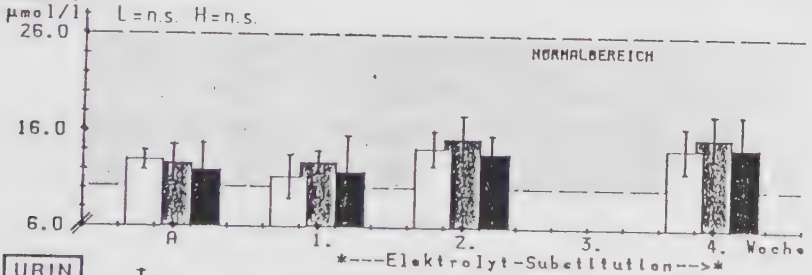
ERYTHROZYT

L=n.s. H₁=s. (p<0,1)



SERUM

L=n.s. H=n.s.



URIN

L=n.s. H=n.s.

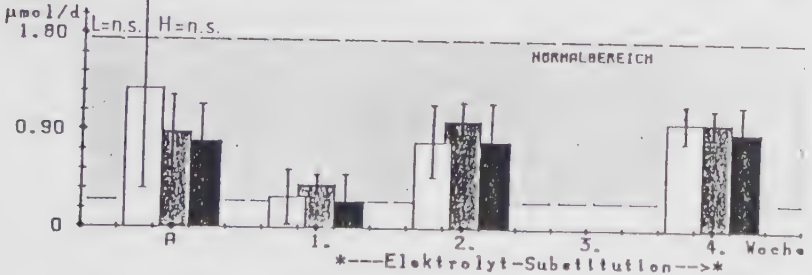


Abbildung 10 a: Mittelwerte der 3 Untergruppen. Erläuterungen s.S. 19

3.8. Chlorid : Bei der graphischen Darstellung der gemessenen Chlorid-Konzentrationen sei nochmals auf die unterschiedliche Spannweite der beiden Ordinaten in Abbildung 11 bzw. 11 a hingewiesen!

a) Univariate Betrachtung: (Gesamt - Mittelwerte, Abbildung 11)

- **Serum:** Im Vergleich zum Ausgangswert von 117,8 mmol/l war die Chlorid-Konzentration nach dem 1. Lauf praktisch unverändert: 117,4 mmol/l. Im Rahmen der zweiten Laufbelastung stieg sie - nicht signifikant - auf 120,4 mmol/l im Durchschnitt, und lag nach dem 3. Lauf mit 127,7 mmol/l deutlich über dem Ausgangsniveau (Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1 %).

Bemerkenswert ist darüberhinaus, daß dieser Wert deutlich oberhalb des Normalbereiches lag (siehe Abb. 11).

- **Urin:** Bei der Bestimmung der Chlorid-Ausscheidung im Urin fand sich im Zusammenhang mit den Belastungen jeweils ein deutlicher Rückgang. Die in 24 Stunden nach den Läufen ausgeschiedenen Mengen lagen hoch signifikant unter dem Ausgangsniveau (siehe Abb. 11).

b) Multivariate Betrachtung: (Gruppen - Mittelwerte, Abbildung 11 a)

Im Serum ließen sich keine statistisch zu sichernden Unterschiede zwischen den 3 Untergruppen feststellen.

Im Urin lag die pro 24 Stunden ausgeschiedene Chloridmenge der CHAMP®-Gruppe statistisch auffällig ($p < 0,10$) über der bei der INZELLOVAL® - und PFRIMMER®-Gruppe gemessenen Menge.

Darüberhinaus konnte kein weiterer Unterschied mit Hilfe der Statistik gesichert werden. Siehe Abbildung 11 a.

CHLORID

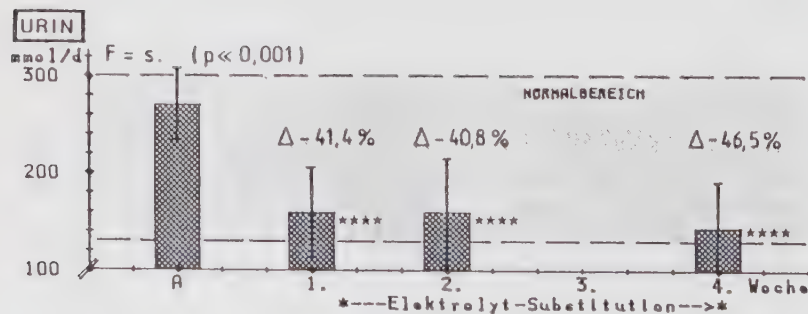
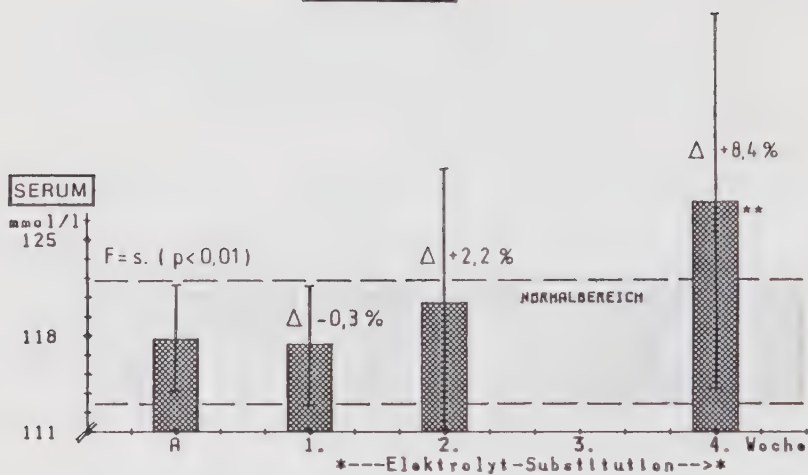


Abbildung 11: Mittelwerte des Gesamt-Kollektives. Erläuterungen s.S.19

CHLORID

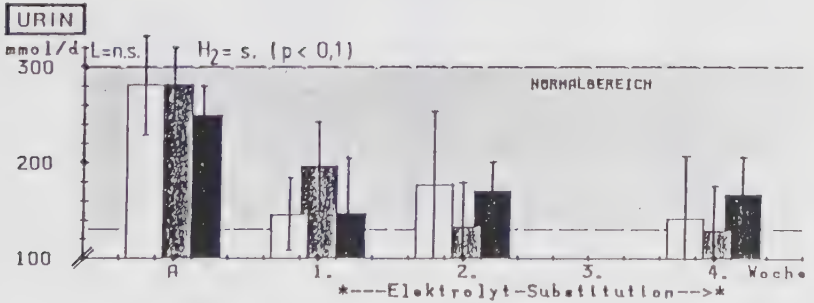
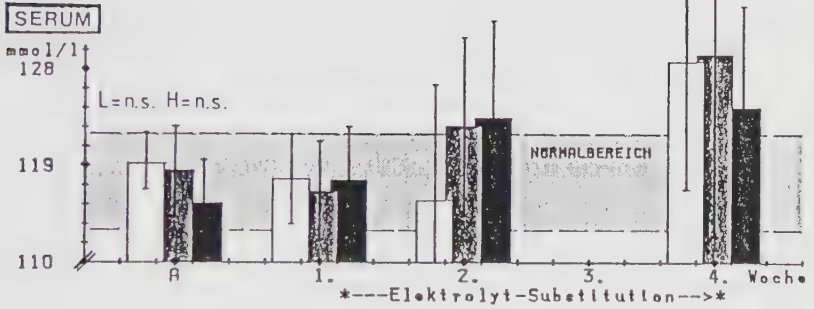


Abbildung 11 a: Mittelwerte der 3 Untergruppen. Erläuterungen s. S.19

4. KREATININ

Die durchschnittliche Konzentration von Kreatinin im Serum erhöhte sich während der Läufe sehr deutlich (siehe Abbildung 12). Die nach Belastung ermittelten Werte lagen oberhalb des Normalbereiches.

Im Vergleich zum durchschnittlichen Ausgangswert von 1,01 mg/dl kam es nach dem 1. Lauf zu einem signifikanten Anstieg auf einen Mittelwert von 1,28 mg/dl. Die Zunahme nach dem 2. und 3. Lauf war noch deutlicher: hoch signifikant auf im Mittel 1,39 mg/dl bzw. sogar 1,47 mg/dl.

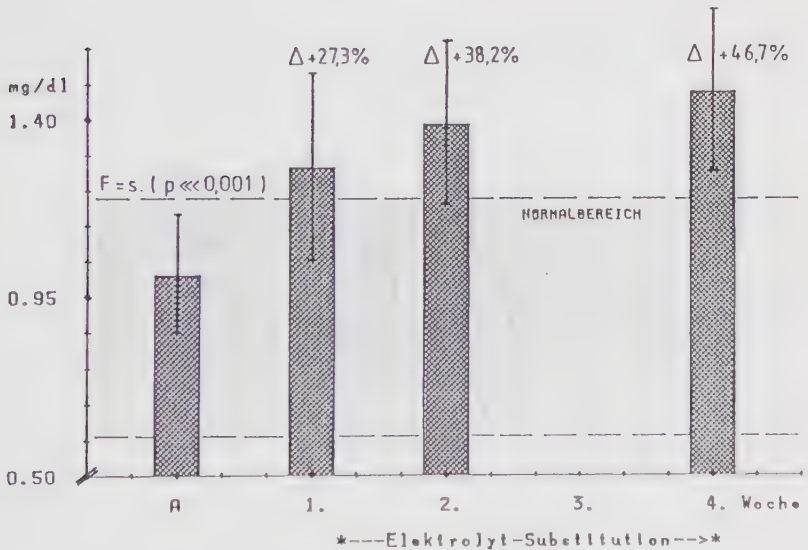


Abbildung 12: Mittlere Kreatinin-Werte des Gesamt-Kollektives der Sportler (Erläuterungen siehe Seite 19).

5. GESAMT - EIW EIB

Im Vergleich zum Ausgangsmittelwert von 7,54 g/100ml fand sich nach den Läufen einheitlich eine leichte Zunahme auf im Durchschnitt 7,69 g/dl, 7,86 g/dl und 7,68 g/dl (siehe dazu Abbildung 13).

Dieser mittlere Gesamteiweiß-Anstieg ließ sich jedoch in keinem der Fälle statistisch sichern.

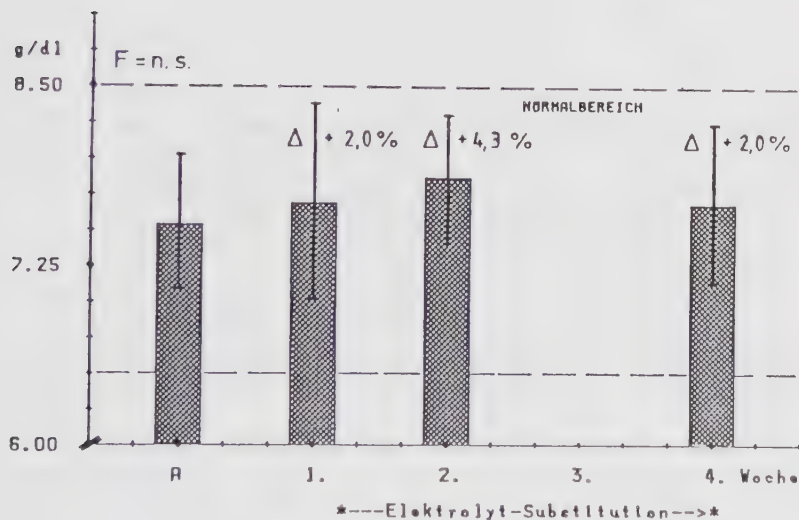


Abbildung 13: Mittlere Gesamt-Eiweiß-Konzentration des Gesamt-Kollektives der Sportler (Erläuterungen siehe Seite 19).

D. DISKUSSION

1. Allgemeines:

In der Literatur existieren nur relativ wenige Untersuchungen über die Auswirkungen von Ausdauerbelastungen unter Realbedingungen bei Jugendlichen. So wurden bei diesem Feldversuch bestimmte Auswirkungen des Langstreckenlaufes hinsichtlich möglicher akuter bzw. längerfristiger Veränderungen an Jugendlichen unter Realbedingungen studiert.

Hierbei standen die Vorteile der Untersuchungen unter den Bedingungen einer realen Umwelt bzw. eines realen Trainings / Wettkampfes den Nachteilen erschwerter Arbeitsbedingungen und methodischen Schwierigkeiten gegenüber (siehe dazu: " Diskussion der Methodik ", Seite 62). Als Folge ergibt sich eine eingeschränkte Verwertbarkeit bestimmter Ergebnisse bzw. sind aus solchen Ergebnissen nur gewisse Tendenzen oder Hypothesen ableitbar.

Weiterhin können die untersuchten Parameter nur Teilaspekte der Gebiete " Hämatologie / Rheologie " und " Wasser- / Elektrolythaushalt " widerspiegeln. Daraus ergibt sich als Folgerung, daß Aussagen über die Entwicklungen in den Gesamtmechanismen nur mit Einschränkungen gemacht werden können.

Zusammenfassend sei jedoch - wie bereits einleitend - nochmals betont, daß diese aufgeführten Unwägbarkeiten in der Anlage der Studie bewußt in Kauf genommen wurden, um Ergebnisse unter Realbedingungen zu erhalten.

2. Diskussion der Methodik:

Die Hauptintention vorliegender Arbeit, einen Feldversuch unter Realbedingungen durchzuführen, bedingte methodische Schwierigkeiten.

So herrschten an den 3 Untersuchungstagen sehr unterschiedliche Witterungsbedingungen: z.B. relativ kühles Wetter während des 1. Laufes und sehr warmes Wetter während des 3. Laufes. Dies gilt es bei der Diskussion und Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Weiterhin wurde auf eine interne Kontrolle (d. h. Gruppe ohne Elektrolyt-Substitution bzw. Placebo-Gruppe) verzichtet, nachdem sich einige Sportler nicht bereiterklärt hatten bzw. deren Eltern es nicht zuließen, möglicherweise für 4 Wochen keine Elektrolyte zu sich zu nehmen. Somit mußten die Ergebnisse mit externen Kontrollen verglichen werden, d.h. mit anderen Studien über die vorliegenden Fragestellungen. Bailar u. a. [2] belegen in einer ausführlichen Arbeit die Möglichkeit und Berechtigung dieses Vorgehens.

In bestimmtem Rahmen konnte auch eine der 3 Gruppen gegen die beiden anderen gleichsam als Kontrollgruppe betrachtet werden: so enthält eines der substituierten Präparate (INZELLOVAL[®]) kein Natrium, Chlorid und Calcium, was in den beiden anderen Präparaten (CHAMP[®], PFRIMER[®]) zu finden ist. Dafür enthält es die Spurenelemente Eisen, Zink und Kupfer, die wiederum in den beiden anderen nicht enthalten sind.

Als weiteres wichtiges Kriterium einer kritischen Betrachtung des methodischen Vorgehens sind fehlende Ausgangswerte unmittelbar vor Belastung zu nennen, die wegen begrenzter personeller Möglichkeiten nicht gewonnen werden konnten (siehe hierzu: "Organisatorische Fragen", Seite 8/9). Aufgrund dessen war ein Vergleich vor Belastung / nach Belastung nicht möglich. Es konnten nur die jeweils nach Belastung gewonnenen Werte gegeneinander verglichen werden und berechtigten zu bestimmten Schlußfolgerungen. Demgegenüber erlaubte der Vergleich mit dem zu Studienbeginn gewonnenen Ausgangsruhwert nur hypothetische Aussagen bzw. die Andeutung von Tendenzen.

Im Gruppenvergleich führte der fehlende Vor-Belastungswert dazu, daß - statistisch gesehen - die Grundschwankung (der Versuchsfehler) relativ groß war und damit eventuelle durch die Präparate bedingte kleinere Schwankungen nicht mehr sichtbar gemacht werden konnten.

Es sei weiterhin auf die relativ geringe Anzahl von Probanden in den einzelnen Gruppen hingewiesen. Von Seiten der Statistik sind trotzdem Tendenzen auch in diesem kleinen Rahmen gut erkenn- und darstellbar.

Im Zusammenhang mit dem in vorliegender Arbeit gezogenen Vergleich der eigenen Ergebnisse mit denen anderen Studien in der Literatur muß be-

dacht werden, daß diese Studien zum größten Teil an Erwachsenen durchgeführt wurden. Diese Art des Vergleiches wurde gewählt, da kaum Literatur über Untersuchungen an Jugendlichen zu dieser Thematik existiert. Allerdings gibt es in den untersuchten Regulationsmechanismen des Organismus und den Veränderungen während Ausdauerbelastung keine Unterschiede zwischen Erwachsenen und Jugendlichen. Insofern ist ein derartiger Vergleich gerechtfertigt.

Schließlich soll noch auf ein grundsätzliches Problem dieser und vieler in der Literatur wiedergegebenen Studien hingewiesen werden: die Messungen und Ergebnisse stellen Momentaufnahmen von Systemen und Regulationsmechanismen des Organismus dar, die durch ihre spezifische Kinetik gekennzeichnet bzw. charakterisiert sind. Aufgrund von zu einem bestimmten Zeitpunkt gewonnenen Werten ist nur sehr bedingt auf die zugrundeliegende Kinetik zu schließen. Dieser Umstand ist bei der folgenden Diskussion und Interpretation der Ergebnisse kritisch zu berücksichtigen. Dabei sollte jedoch das Hauptanliegen vorliegender Arbeit mitbedacht werden, eine Feldstudie unter Realbedingungen durchzuführen unter bewußter in-Kauf-Nahme oben aufgeführter Schwierigkeiten.

3. Diskussion der Ergebnisse :

3.1. Belastungsintensitäten. Körpergewicht. Kreatinin.

In der vorliegenden Untersuchung fanden innerhalb von 3 Wochen 3 Langstreckenläufe statt. Dabei herrschten unterschiedliche Witterungsbedingungen. Dieser Umstand dürfte die Belastungsintensität der Sportler deutlich beeinflusst haben, was mit folgenden Meßwerten belegt werden soll: während des 3. Laufes herrschten deutlich höhere Außentemperaturen als beim 1. Lauf, der Wert beim 2. Lauf lag ungefähr dazwischen. Entsprechend war der Gewichtsverlust während des 3. Laufes am größten. Mit durchschnittlich 2,05 % lag er jedoch unterhalb der 3 % - Grenze, ab der mit einer Einschränkung der Leistungsfähigkeit zu rechnen ist [43]; dies ist ein Zeichen dafür, daß die Teilnehmer sich in guter körperlicher Verfassung befanden und im Rahmen der etwa einstündigen Belastung auch bei warmer Witterung nicht bis zur maximalen Erschöpfung gefordert wurden.

Daß der 3. Lauf - trotz inzwischen mehrwöchigen Trainings - die größte Anstrengung mit sich brachte, zeigten laborchemisch die Kreatininwerte im Serum der Jugendlichen, die infolge der Belastung noch deutlicher als beim 1. und 2. Lauf angestiegen waren (siehe Abbildung 12). Porzolt u. a. [63] konnten nachweisen, daß ein Serumkreatininanstieg während Belastung hauptsächlich durch vermehrte Freisetzung von Kreatinin infolge geleisteter Muskelarbeit bedingt ist und weniger die Folge der während Belastung eingeschränkten Nierenfunktion oder von Wasserverschiebungen (Hämokonzentration) ist.

Nochmals zurück zu den herrschenden Temperaturen: Refsum [65] fand bei langen Ausdauerbelastungen bemerkenswert geringe Veränderungen im Wasser- und Elektrolythaushalt, wenn die Belastung bei kalten Witterungsbedingungen stattfand. Seine Ergebnisse decken sich mit denen dieser Studie, die bei kühlen Temperaturen (1. Lauf) die geringsten Veränderungen zeigte und bei hohen Temperaturen wesentlich deutlichere Unterschiede nachweisen konnte.

Eine solche durch höhere Außentemperaturen - speziell während des 3. Laufes - bedingte Mehrbelastung der Jugendlichen gilt es bei der weiteren Diskussion der Ergebnisse zu berücksichtigen.

3.2. Hämatologische Parameter. Wasserverschiebungen. Gesamt - Eiweiß.

Im roten Blutbild der jugendlichen Sportler zeigte sich eine bemerkenswerte Tendenz: unmittelbar nach der Laufbelastung fanden sich relativ niedrige Erythrozyten-Zahlen und ein gefallener mittlerer Hämatokritwert (Abb. 3) - allerdings im Vergleich zu dem bei Studienbeginn erhobenen Ausgangsruhowert und nicht zu einem Vor-Belastungswert. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß ausdauertrainierte Sportler in Ruhe ein "subnormales" rotes Blutbild haben können (infolge eines höheren Blut- bzw. Plasmavolumens niedrigere Erythrozytenzahlen, Hämatokrit- und Hämoglobinwerte als Nicht-Trainierte [12, 24, 25, 26, 32, 56]), soll als Hypothese im Folgenden diskutiert werden, daß im vorliegenden Versuch während der Belastungen trotz Dehydration eine Hämodilution eingetreten ist.

Bei genauem Literaturstudium fällt auf, daß Ausdauerleistungen von mehr als 75 - 90 Minuten Dauer einheitlich zu einer Hämokonzentration - Hämatokritanstieg - führen [3, 11, 55, 58, 60, 70, 72], wogegen sich bei Dauerbelastungen bis zu etwa 75 Minuten Dauer eine Hämodilution - Hämatokritabfall - nachweisen läßt. So fanden Colt u. a. [16] einen Hämatokritabfall während eines 10-Meilen-Laufes mit einer durchschnittlichen Laufzeit von 70 Minuten. Bichler [6] kam zu gleichen Ergebnissen bei Sportlern, die einen 5000m- bzw. 10 000m-Lauf absolviert hatten. Raas [64] fand bei Skilangläufern eine Hämodilution während der Belastung und Senay [75] wies nach, daß der Hämodilutionsgrad während einer Ausdauerbelastung abhängig ist vom Trainingszustand des Sportlers, Dauer der Belastung und herrschender Temperatur: gut trainierte Sportler hatten infolge der Ausdauerbelastung relativ das flüssigste Blut; bei hohen Außentemperaturen fand er eine deutlichere Blutverdünnung als bei niedrigen Temperaturen.

Diese Aussagen decken sich mit den Ergebnissen bzw. Tendenzen, die sich in der vorliegenden Untersuchung zeigten: Hämoglobinkonzentrationen, erniedrigte Erythrozytenzahlen und Hämatokritwerte sprechen dafür, daß es unter derartiger Belastung zu einer Hämodilution kommt. Insbesondere die Ergebnisse nach dem 3. Lauf stützen diese Hypothese.

Offenbar ist der Organismus des ausdauertrainierten Sportlers in der Lage, auch bei höheren Graden einer Dehydration sein Blut- bzw. Plasmavolumen konstant zu halten oder sogar zu vergrößern.

Ein solcher Mechanismus bringt wichtige Vorteile. Die Blutviskosität erniedrigt sich bei gleichzeitiger Erhöhung der Sauerstofftransportkapazität (niedrigere Hämoglobin- und Erythrozytenkonzentration bei deutlich erhöhtem Blutvolumen führt absolut gesehen zu einer Erhöhung der Zahl der Sauerstoffträger [32]), was eine Steigerung des Herzminutenvolumens ohne Zunahme der Herzarbeit ermöglicht. Denn eine Hämatokritverminderung führt zu einer exponentiellen Abnahme der Blutvisko-

sität und gleichzeitiger Abnahme des peripheren Widerstandes [79]; eine erniedrigte Blutviskosität wiederum führt zu einem Anstieg des venösen Rückstroms zum Herzen und somit zu einer Steigerung des Herzminutenvolumens. Letztlich wird damit - trotz einer relativ gesehen geringeren Zahl der Sauerstoffträger - eine Zunahme der Sauerstofftransportkapazität über die HMV-Steigerung erreicht, was zu einer besseren Sauerstoffversorgung des Gewebes führt [79].

Darüberhinaus ermöglicht dieses große zirkulierende Volumen von relativ dünnem Blut dem Organismus eine Steigerung des Wärmetransportes. Die Fähigkeit zur Hämodilution entscheidet mit über die Hitzetoleranz; nach Israel [42] ist nämlich die Reduktion der Leistungsfähigkeit stärker mit dem Körpertemperaturanstieg als mit dem Grad der Dehydration korreliert! Bei größerem Herzminutenvolumen kann der Körper mehr Wärme in die Peripherie (Haut) transportieren, um sie dort über Schweißverdunstung, Konvektion und Strahlung an die Umgebung abgeben zu können. Bekanntlich besitzt ja die Muskulatur "nur" einen Wirkungsgrad von etwa 30 %, sodaß bei motorischer Belastung 70 % der Energie in Form von Wärme frei wird.

Im Weiteren soll nun modellhaft auf mögliche Mechanismen eingegangen werden, die zu einer Hämodilution bzw. Blut-/Plasmavolumenzunahme unter Ausdauerbelastung führen könnten.

Ein Langstreckenlauf stellt für den Organismus eine Streßsituation dar, die zu einer Katecholaminausschüttung führt. Diese wiederum verursacht über den vasotropen Mechanismus, der zur Einschränkung der Nierenfunktion führt, sowie über einen direkten chemotropen Effekt an den Zellen des juxtaglomerulären Apparates der Niere die Freisetzung von Renin, das wohl mit einer Steigerung auf das 5-fache des normalen Serumspiegels die Hauptanpassung an die Belastung darstellt [21]. In der Folge wird dann vermehrt das Hormon Aldosteron aus der Nebennierenrinde freigesetzt. Neumann [59] fand nach 10 Km- und 20 Km-Läufen um 3 - 4 mal höhere Serumwerte als in Ruhe.

Aldosteron hat die generelle Eigenschaft, an epithelialen Organen die aktiven Natrium-Pumpen zu stimulieren. Auf diese Weise kommt es zu einem verstärkten transzellulären Na-Transport überall dort, wo die Gefahr besteht, daß Na-haltige Flüssigkeit dem Körper verloren gehen könnte. So wird unter Aldosteron nicht nur der Urin " Na-arm " gemacht (über die Steigerung der tubulären Natriumrückresorption bei kompensatorisch erhöhter Kaliumausscheidung), sondern es wird auch ein nahezu Na-freier bzw. Na-ärmer (hypotoner) Schweiß produziert [20]. Aus Gründen der Elektroneutralität folgt das Anion Chlorid dem Natrium passiv nach. Mit diesem Mechanismus gelingt es dem Körper, Salz (und damit Wasser) einzusparen.

In der Tat war es für unsere in der Savanne lebenden Vorfahren lebenswichtig, das nur mühsam zu bekommende Salz im Körper zu halten und das im Überschuß vorhandene Kalium wieder loszuwerden [71]. Das trifft im wesentlichen auch heute (bei Ausdauerbelastungen) noch zu. Als Indiz dafür sei aus vorliegender Untersuchung die nach Belastung signifikant gestiegene Natrium - Vollblut- und -Serumkonzentration (trotz Hämodilution!) angeführt (siehe Abb. 4). Gleiches gilt für Chlorid (Abb. 11).

Die beschriebene Natriumretention und die damit verbundene Wasserretention führt nach Costill [17] zu einer Expansion des extrazellulären Flüssigkeitsvolumens.

Diese Zunahme des Extrazellulärtraumes wird während der Ausdauerbelastung noch zusätzlich durch aus dem Abbau der Glykogenreserven im Muskel freiwerdenden Wassers verstärkt: da 1 g Glykogen 3 g Wasser bindet, wird auf diese Weise Wasser freigegeben [19, 42]. Laut Israel [42] können allein aus der Muskulatur der unteren Extremitäten etwa 1,5 Liter Wasser herrühren; diese Wasserreserve des Organismus, die naturgemäß allein bei Belastungsdehydration zur Verfügung steht, ist sicher nicht zu unterschätzen und muß in jede Betrachtung miteinbezogen werden. Als Hinweis für die Richtigkeit dieser Annahme fand Israel [42] eine signifikante Verkleinerung des Volumens der Arbeitsmuskulatur bei Radrennfahrern unter Belastung (per Messung des Beinumfangs).

Schließlich sei noch auf die im Zustand des Belastungsstressess bzw. der Exsikkose erhöhte Produktion und Sekretion des antidiuretischen Hormons (A D H) hingewiesen. Auch diese Reaktion des Endokriniums bewirkt eine Wasser- und Natriumretention [42].

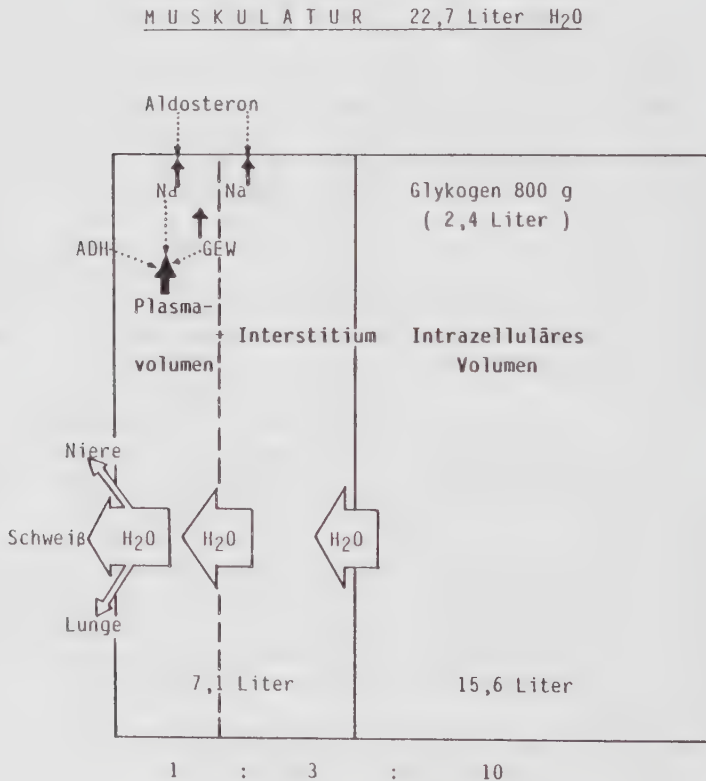
Die Zunahme der Extrazellulärflüssigkeit während Belastung führt über einen ganz bestimmten Mechanismus zu einer Zunahme des Intravasalvolumens bzw. des Plasmavolumens: es kommt zu einer Proteinbewegung aus dem extravasalen in den intravasalen Raum [3, 42], was zu einer Erhöhung des onkotischen Drucks führt und damit zum Wassereinstrom aus dem Interstitium.

Nach Röcker u. a. [68] hängt das Plasmavolumen maßgeblich von der Proteinkonzentration und von der gesamten intravasalen Proteinmenge ab (1 g Protein binden etwa 15 g Wasser!).

Auch in vorliegender Arbeit zeigte sich eine Erhöhung der Gesamteiweißkonzentration im Blut während den Läufen (siehe Abb. 13), die nicht durch eine Hämokonzentration erklärt werden kann. Dieser Befund stimmt mit den oben zitierten Untersuchungen überein und stützt die Theorie, daß der Körper während einer Ausdauerbelastung hauptsächlich extravasales - intrazelluläres [19] - Wasser verliert ohne Verringerung des Plasmavolumens, ja letzteres trotz Dehydration sogar zunimmt; wie angedeutet, spielen dabei die Plasmaproteine eine zentrale Rolle.

Unter Ruhebedingungen verhalten sich im übrigen die Wasseranteile von Intrazellulärraum, Interstitium und Blut wie 10 : 3 : 1, d.h. 5 % des Körpervolumens liegen als Wasser im Blut vor, 15 % im Interstitium und 45 - 50 % in der Zelle [57].

Das oben erarbeitete Modell einer unter körperlicher Belastung entstehenden Wasserverschiebung soll in der folgenden Abbildung nochmals graphisch dargestellt werden:



nach Kirsch [50], modifiziert

Abbildung 14: Flüssigkeitskompartimente der Muskulatur und ihre Umverteilung bei langdauernder körperlicher Belastung

Abschließend zu dieser Thematik soll nochmals auf die anfangs zitierte Beobachtung in der Literatur eingegangen werden, daß bei trainierten Ausdauersportlern die Grenze zwischen Hämodilution und Hämokonzentration während einer Ausdauerbelastung etwa zwischen 75 und 90 Minuten liegt. Ab diesem Zeitpunkt scheint der Organismus die Balance zwischen Salz-/Wassersparmechanismen und der Thermoregulation nicht mehr ohne weiteres aufrecht erhalten zu können; wird nicht Flüssigkeit substituiert, kann die erhöhte Körpertemperatur sehr schnell zum leistungsbegrenzenden Faktor werden [42]. Schaper [71] empfiehlt dem Langstreckenläufer, ab einer Distanz von ca. 15 Km Flüssigkeit (Wasser) zu sich zu nehmen.

In diesem Zusammenhang stellt sich darüberhinaus die grundsätzliche Frage, ob in diesen Zeitraum eine bestimmte Leistungsgrenze des Organismus fällt.

Folgende Beobachtungen aus anderen Bereichen sportmedizinischer Untersuchungen scheinen dies zu unterstreichen: Ahlborg und Mitarbeiter [1] fanden bei Fahrradergometerversuchen mit langdauernder Belastung den Eintritt der (subjektiven) physischen Erschöpfung zwischen der 85. und 90. Minute. Raas [64] spricht von einer Erschöpfung der Glykogenreserven des Organismus bei Dauerleistungen jenseits der 75-Minuten-Grenze und nimmt an, daß ab diesem Zeitpunkt Fett oxidiert werden müsse, was nicht so vorteilhaft sei wie die Kohlenhydratverbrennung, weil der Wirkungsgrad bei Fettverbrennung um etwa 20 % geringer ist.

Scheele u. a. [73] bestätigen diese Aussagen und betonen (als Resultat von eigenen Versuchen mit 50 Sportlern, die einen 10 Km-, 25 Km- oder Marathon-Lauf absolviert hatten), daß der limitierende Faktor einer mehr als 90-minütigen Belastung die erschöpften Glykogenreserven sei, und daß jenseits dieser 90 Minuten ein Abfall von Insulin, ein Cortisol-Anstieg und höhere Konzentrationen von Ketonkörpern als Zeichen einer veränderten Stoffwechsellage gefunden wurden.

Auch sei nochmals Schaper [71] zitiert, der nach etwa 20 - 25 Km Laufstrecke die Grenze des Salzeinsparungsmechanismus des Organismus sieht und demzufolge ab dieser Distanz die Einnahme einer Salzlösung empfiehlt.

Weitere Untersuchungen erscheinen zur Klärung dieses Fragenkomplexes sinnvoll.

Im Anschluß an die nun folgende Diskussion der Elektrolytveränderungen während Ausdauerbelastung soll unter dem Blickwinkel der Elektrolyte nochmals dazu Stellung genommen werden.

3.3. Elektrolyt - Veränderungen.

Bevor die Elektrolyt-Veränderungen im Einzelnen diskutiert werden, sollen noch einige grundsätzliche Dinge zu dieser Thematik angeführt werden.

Die Hauptschwierigkeit im Zusammenhang mit Elektrolyt-Konzentrationen im Blut (Vollblut, Plasma bzw. Serum) und Urin besteht darin, inwieweit Messungen in diesen Kompartimenten Rückschlüsse auf intrazelluläre Verhältnisse erlauben, hier speziell innerhalb der Muskelzelle. Böhmer [8] betont, daß nur im Zustand der Homöostase Serum-Elektrolytkonzentrationen Rückschlüsse auf intrazelluläre Konzentrationen erlauben. Wie aber sind die Verhältnisse unter langdauernder körperlicher Belastung? Ist es z. B. berechtigt, aus erniedrigten Serum-Konzentrationen auf die Notwendigkeit einer Elektrolyt-Substitution zu schließen? Dies gilt insbesondere für die bedeutenden intrazellulären Elektrolyte bzw. Spurenelemente Kalium, Magnesium, Kalzium, Zink und Kupfer.

Um Aussagen über intrazelluläre Verhältnisse machen zu können, werden bei den verschiedenen Studien zwei Wege beschritten: zum einen wird mittels Biopsie Muskelgewebe gewonnen [19, 36], ein Vorgehen, das zwar die exaktesten Ergebnisse bringt, aber für den Sportler einen belastenden Eingriff darstellt als eine Blutentnahme, mit deren Hilfe sich als zweite Möglichkeit Ergebnisse über intrazelluläre Verhältnisse gewinnen lassen. Dabei wird der Erythrozyt als Zellmodell verwendet, weil es sich um die einzige zur Analyse leicht erreichbare Körperzelle handelt. Etliche Untersuchungen haben die Berechtigung der Verwendung des Erythrozyten als Zellmodell für die Skelettmuskelzelle zur Analyse von extra-/intrazellulären Elektrolyt- und Wasserverschiebungen aufgezeigt [13, 31, 53, 66, 74, 77]. Dieser Weg wurde auch in der vorliegenden Studie gewählt.

Für die gleichsinnigen Veränderungen in Skelettmuskelzelle und Erythrozyt sei folgendes Beispiel angeführt: wie im vorhergehenden Kapitel ausführlich dargelegt, kommt es während längerer körperlicher Belastung zu einem bedeutenden intrazellulären Wasserverlust. Dem entspricht auf der Ebene des Erythrozyten die Abnahme des Zellvolumens: aufgrund der gesteigerten Plasmaosmolarität kommt es zum Efflux von Flüssigkeit aus den roten Blutzellen. Maron u. a. [54] beschreiben diese Abnahme des mittleren Zellvolumens im Zusammenhang mit einem Marathonlauf, Costill [18] und Harrison [40] fanden bei Ausdauerleistungen während heißer Außentemperaturen eine Verkleinerung des Volumens der Blutzellen um bis zu 7 % .

In der Tendenz finden sich diese Ergebnisse in vorliegender Arbeit bestätigt (siehe Abb. 3): während der ersten beiden Läufe zeigte sich - bei kaum veränderter Plasmaosmolarität - ein praktisch konstantes

mittleres Zellvolumen, wogegen sich beim 3. Lauf eine erhöhte Plasmasosmolarität fand und daraus resultierend eine signifikante Abnahme des Erythrozytenzellvolumens. Dies ist auch ein Hinweis darauf, daß der 3. Lauf aufgrund der deutlich höheren Temperaturen eine größere Belastung darstellte als der 1. und 2. Lauf.

Nochmals zurück zur allgemeinen Fragestellung nach den intrazellulären Elektrolyt-Konzentrationen. Hier Antworten zu finden ist unter anderem deswegen von Bedeutung, um beurteilen zu können, ob und wann eine Elektrolyt-Substitution notwendig bzw. sinnvoll ist.

In diesem Zusammenhang spielen Aspartat-gebundene Elektrolyte eine wichtige Rolle (INZELLOVAL[®]- Gruppe in dieser Studie). Sie werden durch die Aspartate schneller und in größerem Umfang in die Zelle eingeschleust als " freie " Elektrolyte [67] und sind in der Lage, einen entgleisten Elektrolyt-Stoffwechsel wirkungsvoll wieder zu stabilisieren. In der Intensivmedizin finden sie deshalb routinemäßig Anwendung. Da unter langdauernder körperlicher Belastung ähnliche Elektrolytverhältnisse gefunden werden, verspricht man sich im sportlichen Bereich Leistungssteigerungen durch die Gabe solcher Präparate. Doch die Ergebnisse der Literatur sind nur bei sehr hohen bzw. sehr langdauernden körperlichen Belastungen einheitlich positiv: Dauerleistungen bis an die Grenze der völligen Erschöpfung ließen sich objektiv durch die Gabe von Aspartat-gebundenen Elektrolyten steigern [23, 28, 29]. Dagegen ließen sich bei Ausdauerleistungen von 1 - 2 Stunden Dauer keine leistungssteigernden Effekte nachweisen und die Wirksamkeit bzw. Notwendigkeit einer derartigen Substitution wird verneint [10, 29].

Die vorliegende Arbeit versucht einen Beitrag zu dieser Frage zu leisten.

Wahrscheinlich spielt jedoch in diesem ganzen Zusammenhang noch ein anderer Punkt eine wichtige Rolle, nämlich das Membran-Potential bzw. die Erregbarkeit der Muskelzellmembran.

Dieses Thema wird in der Literatur sehr wenig beachtet. Dabei dürfte jedoch der Befund von Costill und Saltin [19] von großer Wichtigkeit sein, daß trotz deutlicher Veränderungen der intra- und extrazellulären Kalium- und Natriumkonzentrationen das Membranpotential der Skelettmuskelzelle konstant bleibt und die Erregbarkeit der Muskelzellmembran nicht beeinflusst wird. Möglicherweise ist dies einer der wichtigsten Effekte des Ausdauertrainings, der mit zur Steigerung der Leistungsfähigkeit beiträgt.

Intra- und extrazelluläre Konzentrationen von Elektrolyten scheinen demnach nicht der einzig wichtige Punkt bei der Frage nach dem Elektrolythaushalt während Ausdauerbelastung zu sein (könnte man diesen Eindruck doch aus der Literatur gewinnen!). Dies gilt es bei der nun folgenden Diskussion und Interpretation der einzelnen Elektrolytverände-

rungen und des möglichen Einflusses einer Elektrolyt-Substitution zu berücksichtigen.

Über den **N a t r i u m** - Haushalt ist im Zusammenhang mit den während langdauernder Belastung stattfindenden Wasserverschiebungen ausführlich gesprochen worden (siehe Abschnitt 3.2. dieses Kapitels, Seite 65 ff). Es sei an dieser Stelle nochmals auf das Phänomen einer erhöhten Osmolarität trotz gleichzeitiger Hämodilution hingewiesen. Eine erhöhte Natriumkonzentration im Vollblut und im Serum kann demnach bis zu einer Belastungsdauer von etwa 90 Minuten nicht mit einer Hämokonzentration erklärt werden.

Die vorliegende Studie scheint die Salzeinsparungsmechanismen des Organismus während einer Ausdauerbelastung zu bestätigen. So waren die Änderungen des Natriumhaushaltes nach dem 1. und 2. Lauf relativ gering, obwohl jeweils 2,5 % des Körperwassers verloren wurden. Erst beim 3. Lauf zeigten sich deutlicher faßbare Änderungen, wie eine Erhöhung des erythrozytären Natriumgehaltes bzw. der Serumkonzentration, beide die obere Normgrenze überschreitend. Diese Zunahme ist Folge einer höheren Belastung (Temperaturen!) und nicht auf den Einfluß der Natrium-Substitution zurückzuführen, was aus dem Gruppenvergleich geschlossen werden kann: die INZELLOVAL[®] - Gruppe, die kein Natrium zu sich nahm, unterscheidet sich nicht von den beiden anderen Gruppen, die Natrium erhielten.

Die Zunahme der Natriumkonzentration im Erythrozyten bei erhöhtem extrazellulären Natriumgehalt spricht für eine Natriumverschiebung aus dem Extrazellulärraum in den Intrazellulärraum. Diese Phänomene scheinen sich allerdings erst ab einem bestimmten Grad der Belastung (3. Lauf) meßbar auszuwirken. Der Natriumhaushalt wird nicht wesentlich beeinflußt, wenn dieser Grad nicht erreicht wird bzw. relativ niedrige Außentemperaturen herrschen (1. und 2. Lauf, Abb. 4). Zu dieser Aussage kommt auch Refsum [65] aufgrund seiner Untersuchungen an Skilangläufern.

Der Rückgang der Natriumausscheidung im Urin infolge der in dieser Studie untersuchten Belastungen ist bemerkenswert gering. Es finden sich die Ergebnisse von Israel [44] bestätigt, daß Minderausscheidungen selbst bei Sportlern, die nach starker Exsikkation in der Rehydrierungsphase NaCl-arm ernährt wurden, nicht gefunden werden konnten.

Ein Salzangel ist nicht zu befürchten. Trotz Verlusten über den (hypotonen) Schweiß sind die Salzreserven des Organismus groß genug bzw. die Salzeinsparmechanismen während derartiger Belastung so wirkungsvoll, daß eine Natrium-Substitution nicht erforderlich erscheint. Darin

stimmen auch die Aussagen in der Literatur überein [8, 44, 45, 71]. In diesem Sinne sind auch in vorliegender Arbeit die fehlenden signifikanten Unterschiede zwischen den Na-haltigen Elektrolytgetränken (CHAMP* / PFRIMMER*) und dem Na-freien Präparat (INZELLOVAL*) zu sehen; siehe Abbildung 4 a!

Eng mit dem Natriumhaushalt verknüpft ist **Chlorid**. Unter den Anionen im Plasma und in der interstitiellen Flüssigkeit steht Chlorid mengenmäßig bei weitem an erster Stelle. Das zweite wichtige Anion der Extrazellulärflüssigkeit ist Bikarbonat (HCO_3^-).

Wie schon an früherer Stelle erläutert, folgt Chlorid aus Gründen der Elektroneutralität den Veränderungen des Natriums passiv nach. Daher unterliegt es indirekt auch der Aldosteron-Wirkung. In Verbindung mit Natrium liegt die hauptsächliche Bedeutung von Chlorid in der Aufrechterhaltung der osmotischen Isotonie der extrazellulären Flüssigkeit. Darüberhinaus spielt es in der Regulation des Säuren-Basen-Haushalts und damit des pH eine wichtige Rolle; die Anionen Chlorid und Bikarbonat verändern sich gegensinnig, um die Elektroneutralität zwischen Anionen und Kationen aufrechtzuerhalten [76]. Nimmt z. B. das Serumbikarbonat als Folge einer metabolischen Azidose (beispielsweise durch körperliche Belastung) ab, so steigt die Chloridkonzentration an. Unter derartigen Umständen kann die Konzentration von Chlorid im Serum und Urin von derjenigen des Natriums beträchtlich abweichen. Dies konnte auch in vorliegender Untersuchung gezeigt werden (Abb. 11). Mit zunehmender Belastung - 2. und 3. Lauf - stieg die Serum-Chloridkonzentration deutlich stärker an als die Natriumkonzentration. Diese Differenz zum Na-Anstieg dürfte durch die Kompensation einer stärkeren azidotischen Stoffwechsellaage und damit eines verstärkten Bikarbonatabfalls zu erklären sein. Zusammenfassend erklärt sich der deutliche Anstieg der Chloridkonzentration im Serum durch die erhöhte Serumosmolarität und die Gegenregulation zum Bikarbonatabfall.

Chlorid wird zu 98 % renal ausgeschieden. Für die große Bedeutung von Chlorid für den Organismus während und nach Ausdauerbelastung spricht auch die Einschränkung der Urinausscheidung um fast die Hälfte - trotz erhöhter Serumkonzentration. Im Urin unterscheiden sich Chlorid und Natrium noch deutlicher als im Serum, wurde doch bei der Ausscheidung von Natrium nur ein geringfügiger Rückgang gefunden. Demzufolge scheint die Einsparung von Chlorid für den Organismus bei einer Ausdauerbelastung von großer Bedeutung zu sein.

Interessanterweise wird dem Chlorid-Haushalt (unter Belastung) in der Literatur kaum Aufmerksamkeit gewidmet; jedenfalls bleibt in der Regulation desselben noch vieles unklar.

Abschließend noch zur Frage nach dem möglichen Einfluß einer Chlorid-Substitution. Im Rahmen einer Belastung von etwa einer Stunde - wie in vorliegender Studie - ist laborchemisch die Notwendigkeit zu verneinen. Während einer solchen Belastung ist der Chlorid-Verlust über den Schweiß relativ gering und - wie gezeigt - die Nierenausscheidung stark eingeschränkt.

So fand sich zwischen den beiden Gruppen, die Präparate mit Chlorid zu sich nahmen (CHAMP^{*}, PFRIMMER^{*}) und der INZELLOVAL^{*} - Gruppe (ohne Chlorid) bei den Chloridkonzentrationen kein signifikanter Unterschied (Abb. 11 a). Dies entspricht der beim Natriumhaushalt gemachten Aussage, daß eine NaCl-Gabe im Zusammenhang mit einer derartigen Belastung nicht sinnvoll ist. Es gibt sogar Autoren, die von einer Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit nach Gabe von Salzlösungen während einer Ausdauerbelastung berichten [42, 44, 45].

K a l i u m ist als wichtigstes intrazelluläres Kation für die Elektroneutralität, Osmolarität und Enzymaktivität im Zellinneren verantwortlich [76]. Daneben beeinflußt es die transmembranösen Potentiale entscheidend.

Laut Literatur verliert die arbeitende Muskulatur kontinuierlich an Kalium und es besteht bei langdauernden, intensiven Belastungen die Gefahr einer Leistungsminderung aufgrund der stark reduzierten Zellkonzentration [4, 19]. Diese Aussage kann bei der im vorliegenden Versuch gewählten Belastungsdauer nicht bestätigt werden. Insgesamt fanden sich relativ geringfügige Veränderungen im Kaliumhaushalt. Dabei fiel die Tendenz zur Zunahme der intrazellulären (erythrozytären) Konzentration auf - speziell nach dem 3. Lauf - bei gleichzeitig eher sinkendem Serum-Kalium (Abb. 5). Diese Veränderungen stützen die Hypothese einer Wasserverschiebung von intra- nach extrazellulär, die bei dieser Dauer der Belastung größer ist als die Kaliumwanderung in die gleiche Richtung. Wahrscheinlich kommt es erst nach noch längerer bzw. intensiverer Belastung zu dem in der Literatur beschriebenen Kaliumanstieg im Serum.

Der nach dem 3. Lauf erhöhte intrazelluläre Kaliumgehalt ist darüber hinaus ein Hinweis auf beim Glykogenabbau freiwerdendes zusätzliches Kalium. Die Arbeiten von Harlambie [36] und Costill [17] belegen biopisch eine erhöhte intrazelluläre Kaliumkonzentration nach Ausdauerbelastung. Sie stützen damit die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung und stellen die Aussagen der oben zitierten Literatur in Frage. Möglicherweise gelingt es auch dem Organismus durch systematisches Ausdauertraining, Kalium besser in der Zelle zurückhalten zu können.

Die unter Belastung konstant gebliebene Kalium-Vollblutkonzentration bestätigt die Aussage in der Literatur, daß unter normalen diätetischen und klimatischen Bedingungen eine Kaliumverarmung des Körpers nicht zu erwarten ist [8, 17, 50] - trotz einer nicht zu unterschätzenden Ausscheidung von Kalium im Schweiß, in dem die Kaliumkonzentration über der des Serums liegt. So fanden Costill und Mitarbeiter [17], daß dem Körper trotz starker Dehydration durch Körperarbeit, wobei bis zu 4 Liter Flüssigkeit verloren wurden, nur 1,3 % des gesamten austauschbaren Kaliums entzogen wurde.

Somit erscheint bei den gewohnten Ausdauerbelastungen ein Kalium-Ersatz nicht notwendig. In diesem Sinne sind auch die Ergebnisse dieser Arbeit zu interpretieren, was konform geht mit den Untersuchungen von Hagan u. a. [33], die im Rahmen einer 90-minütigen Ergometerbelastung keinen Effekt von oralen K- und Mg-Aspartatgaben auf die Leistungsfähigkeit fanden. Auch Schaper [71] und Böhmer [8] halten bei diesen Ausmaßen der Belastung eine Kalium-Substitution für nicht sinnvoll.

Erst noch intensivere Belastungen über wesentlich längere Zeit oder auch erneute Belastungen in der noch nicht abgeschlossenen Erholungsphase bergen die Gefahr eines Kaliumdefizits in sich und lassen eine Kalium-Substitution sinnvoll erscheinen [4, 8, 9, 28, 29].

Einige dieser Autoren kommen aufgrund der Bestimmung des Gesamtkörperkaliums zu einer solchen Aussage. Eine derartige Messung ist bisher nur bei Kalium experimentell möglich. Bei den anderen Elektrolyten ist man noch weitgehend auf Blutuntersuchungen (Vollblut-, Serum-, Erythrozytenkonzentration), Urinanalyse und Muskelbiopsien angewiesen, um dadurch indirekt auf den Gesamtkörperbestand bzw. mögliche Verluste unter Belastung schließen zu können.

Dies gilt beispielsweise auch für das **Calcium**. Es ist für die Muskelkontraktion unentbehrlich und dabei an zwei Mechanismen wesentlich beteiligt: zum einen vermindert Calcium die Membranpermeabilität, was zu einer Abnahme der Erregbarkeit führt; dies erklärt die Steigerung der neuromuskulären Exzitabilität bei Hypokalzämie. Zum anderen ist es für die Koppelung des Erregungs- mit dem Kontraktionsvorgang in der Muskelzelle notwendig. Aus diesem Grund ist die Konstanz von Calcium-Ionen in der Extrazellulärflüssigkeit notwendig. Der Calciumgehalt wird so fein reguliert, daß man von einer biologischen Konstante spricht [76]. Sogar unter körperlicher Belastung kommt es nur zu sehr geringen Veränderungen, wie auch die Messungen der vorliegenden Arbeit zeigen (Abb. 6).

Diese Konstanz dürfte auch der Grund sein, warum der Calcium-Stoffwechsel und seine Veränderungen in den biologischen Flüssigkeiten unter körperlicher Belastung im Vergleich zu anderen Elektrolyten wenig untersucht worden ist. Aufgrund der Aussagen der spärlichen Literatur zu

diesem Thema und aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchungen läßt sich sagen, daß es zu keiner Umverteilung des Calciums in die Zellen kommen dürfte.

Wahrscheinlich erfolgt die Steuerung des Calcium-Stoffwechsels wesentlich über die Veränderung der endokrinen Aktivität der Nebenschilddrüsen, deren Reaktion auf Belastung noch ungeklärt ist [21].

Der gemessene leichte Rückgang der Calciumausscheidung im 24-Stunden-Urin nach Belastung ist wohl als Gegenregulation der Verluste über den Schweiß zu sehen.

Obwohl diese über den Schweiß ausgeschiedenen Mengen nicht zu vernachlässigen sind, erscheint bei der beschriebenen Konstanz des Calcium-Haushaltes eine Substitution im Zusammenhang mit körperlicher Belastung - auch längerer Ausdauerbelastung - nicht erforderlich.

M a g n e s i u m, als verbreitetes intrazelluläres Ion (99 % befinden sich intrazellulär), ist in biologischer Sicht als Aktivator der verschiedensten Enzymsysteme unentbehrlich. Daneben spielt es für die Membranerregbarkeit und den Kontraktionsvorgang der Muskelzelle eine bedeutende Rolle - ähnlich wie Calcium. Die Regulation des Calcium- und Magnesium-Haushaltes hängen eng zusammen: auch für Magnesium gilt die Notwendigkeit der Konstanz der Konzentration in der Extrazellulärflüssigkeit.

Die feine Regulation des Magnesiumspiegels erklärt die sogar unter Belastung praktisch gleichbleibende Vollblutkonzentration, wie sie auch in vorliegender Untersuchung gefunden wurde (Abb. 7).

Gleichzeitig bestätigte sich die einheitlich in der Literatur beschriebene signifikante Zunahme der erythrozytären Magnesiumkonzentration bei gleichzeitigem Serum-Magnesiumabfall [15, 19, 36, 47]. Dieser läßt sich nicht allein durch mögliche erhebliche Verluste über den Schweiß erklären. Auch ein Verlust des Magnesiums über die Niere scheidet aus; zum einen werden nur etwa 30 % auf diesem Weg ausgeschieden (70 % werden über den Stuhl abgesetzt), zum anderen findet sich unter Belastung ein Rückgang der Magnesiumausscheidung im Urin. Daher ist es wahrscheinlich, daß der Hauptgrund für die Abnahme des Serum-magnesiums während einer Laufbelastung eine vorübergehende Verschiebung in die Zellen - im Blut in die Erythrozyten - ist [15, 19, 47]. Costill und Saltin [19] konnten anhand von Muskelbiopsien die intrazelluläre Zunahme des Magnesiumgehaltes sichern.

Die Ursache für diese Verschiebung ins Zellinnere dürfte der vermehrt Bedarf an Magnesium in Zellen mit erhöhter Aktivität sein; es ist bekannt, daß Zellen mit hoher Stoffwechselaktivität (arbeitende Muskelzellen) eine höhere Magnesiumkonzentration haben als Zellen mit geringer Aktivität [47].

Der Abfall des Serummagnesiums durch Verluste über den Schweiß dürfte keine größere Rolle spielen bzw. sich erst bei wesentlich längerer oder wiederholter Belastung (mehrere Stunden) im Sinne eines meßbaren Defizits bemerkbar machen. Cohen [15] konnte zeigen, daß sich sogar nach einem Marathonlauf sowohl Serum- als auch Erythrozyten-Konzentrationen ohne Magnesiumgabe normalisierten. Er hält die Substitution von NaCl, Kalium und Magnesium während langer Laufbelastung für unnötig. Der gleichen Meinung ist Hagan [33] nach Fahrradergometer-Versuchen von 90-minütiger Dauer unter längerfristiger K-Mg-Aspartat-Substitution. Demgegenüber stehen die Aussagen anderer Autoren [4, 5, 29, 46, 47, 78], die eine Leistungssteigerung nach vorheriger Magnesium-Gabe fanden. So ließ sich eine verbesserte neuromuskuläre Erregbarkeit, längere Belastungszeiten bis zur Erschöpfung und nach Belastung nicht so stark gefallener Serum-Magnesiumspiegel objektivieren, der zu einer längeren Konstanz der intrazellulären Spiegel führen soll; somit wäre über längere Zeit eine ausreichende Magnesium-Konzentration für die vielfältigen zellulären Reaktionen gegeben. In der vorliegenden Untersuchung könnten die nach dem 2. und 3. Lauf gemessenen Magnesium-Serumkonzentrationen ebenfalls so zu deuten sein, da sie nach vorhergehender Substitution gefunden wurden (Abb. 7). Dabei würde die Art der Substitution keine Rolle spielen, jedenfalls ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den 3 Gruppen bzw. Präparaten (Abb. 7 a).

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß von den verschiedenen Elektrolyten eine Magnesium-Substitution noch am ehesten sinnvoll erscheint, möglicherweise in Kombination mit Kalium, da sich Kalium- und Magnesium-Verluste gegenseitig verstärken [4]. Ob allerdings eine Substitution bei einer Dauer der Belastung, wie sie im vorliegenden Versuch untersucht wurde, notwendig ist, muß bezweifelt werden.

Die Regulation des E i s e n - Stoffwechsels im Zusammenhang mit körperlicher Belastung ist noch nicht eindeutig geklärt. Im Rahmen dieser Studie kann nur wenig dazu gesagt werden, da wichtige Parameter des Eisenstoffwechsels (Transferrin, totale bzw. freie Eisenbindungskapazität, Ferritin) nicht bestimmt wurden.

Der Mensch hat einen Gesamtbestand von 4 - 5 g Eisen. Rund 70 % (3 g) davon sind im Hämoglobin gebunden, nur etwa 0,5 g liegen als Funktionseisen - Myoglobin, eisenhaltige Enzyme - vor [11]. Der Eisenstoffwechsel wird weniger durch seine Ausscheidung, als vorwiegend durch die Aufnahme reguliert. Bei Bedarf wird mehr Eisen aufgenommen als normal, bei Überfüllung des Organismus weniger. Dies ist ein Grundgesetz des Eisenstoffwechsels, der sich dadurch von anderen Stoffwechselprozessen unterscheidet, die meist durch Ausscheidung reguliert werden [11]. Ei-

sen gehört zu den wenigen Stoffen, die nur in äußerst geringen Mengen ausgeschieden werden.

Laut Literatur [11, 35, 36] kommt es unter längerer körperlicher Belastung über zwei Mechanismen zu einem Anstieg der Serum-Eisenkonzentration (und in der Folge zu einer Zunahme des intrazellulären Eisengehaltes), wie sie auch in vorliegender Untersuchung gefunden wurde (Abb. 8): zum einen durch den Anstieg des Transferrinspiegels im Serum und zum anderen durch die Abnahme der Eisenbindungskapazität, was einen Stimulus zur Freisetzung von Depot-Eisen darstellt. Wahrscheinlich spielt hierbei das Myoglobin eine wichtige Rolle.

Die öfters als Hauptgrund für das Ansteigen des Eisens im Serum angeführte Hämolyse während Belastung [11, 21, 36] hat nach den Untersuchungen von Harlambie [35] nur einen sehr geringen Einfluß. Er konnte darüberhinaus zeigen, daß nach einem körperlichen Training eine Zunahme der Aktivität bzw. des Gehaltes an eisenhaltigen Enzymen und Proteinen festzustellen ist. Dem würde auch die intrazelluläre Eisenspiegelerhöhung entsprechen, wie sie vorliegende Arbeit nachweist (Abb. 8). Für die gleichzeitige Zunahme von Serum- und Erythrozyten-Eisengehalt bei nahezu unveränderten Eisen-Vollblutkonzentrationen (Abb. 8) konnte keine Erklärung gefunden werden.

Eine Substitution von Eisen im Zusammenhang mit ausdauernder körperlicher Belastung erscheint nicht wirkungsvoll. Allerdings existieren über diese Frage nur sehr wenige Untersuchungen in der Literatur. Als Beispiel sei an dieser Stelle Böhmer [8] angeführt, der nach Gabe von Eisen-Präparaten einen Tag vor einem 2-stündigen Schwimmversuch keine Beeinflussung dieses Kations während und nach der Belastung fand.

In gleicher Weise sind auch die Ergebnisse dieser Arbeit zu interpretieren, da sich keine eindeutigen (signifikanten) Unterschiede zeigten zwischen dem eisenhaltigen Präparat der Gruppe I (INZELLOVAL[®]) und den Präparaten der Gruppe II und III, die kein Eisen enthalten (CHAMP[®], PFRIMMER[®]) - siehe Abbildung 8 a!

Abschließend sollen noch die beiden Spurenelemente **Z i n k** und **K u p f e r** erörtert werden. Über diese Elektrolyte existiert kaum Literatur und bis heute gibt es über den Zink- bzw. Kupfer-Haushalt unter körperlicher Belastung nur vage Vorstellungen.

In der vorliegenden Arbeit wurden bei den Spurenelementen bemerkenswerte Ergebnisse gefunden. So hatten die Sportler bereits in Ruhe für beide Spurenelemente stark erniedrigte Vollblutkonzentrationen, die im

Mittel an der Grenze des Normalbereiches (Zink) bzw. sogar unterhalb desselben (Kupfer) lagen und unter Belastung noch weiter abnahmen (Abb. 9 und 10). Gleiches kann über den Zinkspiegel im Serum und den erythrozytären (intrazellulären) Kupfergehalt gesagt werden.

Die Ergebnisse sprechen dafür, daß die Sportler einen subklinischen Mangel an diesen Spurenelementen haben. In der Literatur findet sich diese Ansicht im Hinblick auf Zink von Harlanbie [37] und Dressendorfer [22] bestätigt; beide Autoren kommen aufgrund von eigenen Untersuchungen übereinstimmend zu dem Ergebnis, daß Ausdauersportler ein grenzwertiges Zinkdefizit haben können, das sich während einer länger dauernden Belastung noch vergrößert.

In diesem Zusammenhang ist noch Harlambies Anmerkung wichtig [36], daß sich im Literaturvergleich die Zink-Serumwerte von Kindern und Erwachsenen, sowie Männern und Frauen nicht unterscheiden. Demnach sind die in vorliegender Studie an Jugendlichen aufgezeigten Ergebnisse auch für Erwachsene gültig.

Z i n k ist nach Calcium und Magnesium das höchst konzentrierte 2-wertige intrazelluläre Kation [41]. 65 % des Zinkgehaltes des Organismus befinden sich innerhalb der Muskelzellen; im Blut befinden sich 75 - 85 % des Zinkgehaltes in den Erythrozyten.

Als intrazelluläres Kation hat Zink zwei wesentliche Aufgaben: zum einen spielt es eine wichtige Rolle bei der Synthese von Nukleinsäuren und Proteinen, zum anderen ist es als essentieller Co-Faktor für mehr Enzymsysteme notwendig als jedes andere Metall [36, 41]. Bei seiner Bedeutung muß es verwundern, daß dem Zink-Haushalt während Ausdauerleistungen bzw. möglichen Zinkverlusten in diesem Zusammenhang in der Literatur bis heute so wenig Beachtung geschenkt wird.

Wie könnte die Hypozinkämie (erniedrigte Vollblut- und Serumkonzentrationen) der Ausdauersportler, die unter Belastung noch deutlicher ist, zu erklären sein?

In Frage kommen gesteigerte Verluste und mangelnde Aufnahme bzw. Resorption [37]. Zink wird über Schweiß, Urin und Faeces ausgeschieden, wobei nicht geklärt ist, in welchen Mengen.

In vorliegender Arbeit wurde zwar eine Zunahme der Urinausscheidung infolge der Läufe gefunden (Abb. 9), diese war allerdings nicht signifikant.

Dressendorfer [22] weist daraufhin, daß der Zinkgehalt im Schweiß relativ hoch sein kann und Verluste bei längerem, starken Schwitzen berücksichtigt werden müssen.

Diese Verluste könnten im Rahmen einer ausgedehnten Trainings- bzw. Wettkampfperiode zu einem chronischen Zinkdefizit führen, wenn sie nicht durch eine ausreichende Aufnahme mit der Nahrung ausgeglichen werden. Im Zustand eines Zinkmangels (subnormale Vollblut und Serum-

konzentrationen) scheint der Organismus wenigstens die intrazelluläre (erythrozytäre) Zinkkonzentration konstant im Normalbereich zu halten (Abb. 9), um die Funktion der Zink-abhängigen Enzymsysteme bzw. Reaktionen zu gewährleisten.

Da es allerdings noch keinen spezifischen Nachweis für ein Zinkdefizit gibt, zögert Dressendorfer [22] mit der Empfehlung einer oralen Zink-Substitution, rät aber zu einer bilanzierten Zinkaufnahme mit der Nahrung, um präventiv die Entstehung eines Mangels zu verhindern.

Es muß in diesem Zusammenhang jedoch betont werden, daß eine ausreichende mengenmäßige Zufuhr von Zink mit der Nahrung noch keinen genügenden Zinkgehalt im Organismus garantiert, da die Art der Zusammensetzung der Nahrung die Resorption von Zink im Dünndarm und den Zinkspiegel im Blut entscheidend beeinflußt. So führt die Aufnahme von raffinierten Kohlehydraten (" weißer Zucker ") zu einer Erniedrigung des Plasma-Zinkspiegels; einen ähnlichen Effekt haben proteinreiche Mahlzeiten [62]. Weißmehl enthaltende Nahrung (Weißbrot, Semmeln, Nudeln, geschälter Reis) behindert die Resorption von Zink im Dünndarm [34, 80].

Diese Beobachtungen dürften von großer Bedeutung sein, besagen sie doch, daß trotz ausreichender Zinkaufnahme mit der Nahrung möglicherweise nicht die notwendigen Mengen resorbiert werden, um auch bei wiederholter Ausdauerbelastung einen ausreichenden Zinkgehalt im Organismus zu gewährleisten.

Wahrscheinlich muß dieser Umstand auch bei einer oralen Zink-Substitution berücksichtigt werden, um die gewünschte Zunahme des Zinkgehalts im Organismus zu erreichen; ansonsten könnte der Effekt einer Substitution nur sehr gering sein oder sogar ganz ausbleiben, was aus den Ergebnissen vorliegender Untersuchung abzuleiten ist: es zeigte sich zwischen den Gruppen, die Präparate ohne Zink (CHAMP[®], PFRIMMER[®]) zu sich nahmen, und der Gruppe, die ein Präparat erhielt, in welchem Zink enthalten ist (INZELLOVAL[®]), kein signifikanter Unterschied, der auf die Substitution zurückzuführen wäre. Die Zinkkonzentrationen im Vollblut und Serum fielen trotz Substitution entsprechend den beiden anderen Gruppen ab (Abb. 9 a).

Für den höheren Zinkspiegel der INZELLOVAL[®]- Gruppe im Vollblut und im Erythrozyt sowohl in Ruhe als auch nach den Läufen - also vor und während der Substitution (Abb. 9 a) - konnte keine Erklärung gefunden werden.

Ähnliche Aussagen können zum **K u p f e r** - Haushalt gemacht werden. Auch hier fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Gruppe, die Kupfer zu sich nahm (in INZELLOVAL®) und den beiden Vergleichsgruppen mit Kupfer-freien Präparaten (CHAMP® , PFRIMMER®), obwohl bereits in Ruhe ein Kupfermangel bei den Sportlern festzustellen war, der unter Belastung noch deutlich zunahm (Abb. 10 und 10 a). Dieses Defizit zeigte sich allerdings nicht im Serum, sondern im Vollblut und im Erythrozyten; in diesen Kompartimenten wurden Konzentrationen gemessen, die zum Teil (nach den Läufen) sehr deutlich unterhalb des Normalbereiches lagen. Demgegenüber war der Kupferspiegel des Serums im Normalbereich, stieg sogar unter Belastung an (Abb. 10). Demnach kann trotz normaler Serumkonzentration eine intrazellulärer Mangel an Kupfer bestehen. In diesem Zusammenhang ist die Aussage Dressendorfers [22] anzuzweifeln, daß aufgrund eines normalen Kupfer-Serumspiegels bei Ausdauerläufern auf einen ausreichenden Kupfergehalt im Organismus geschlossen werden könne. Bei seinen Untersuchungen an 77 Langstreckenläufern wurden weder Vollblutkonzentrationen gemessen, noch die Konzentrationen in den Erythrozyten bestimmt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sprechen dafür, daß es bei Kupfer unter Belastung zu einer dem Zink entgegengesetzten Verschiebung kommt: aus dem Intrazellulärraum (Erythrozyt) in den Extrazellulärraum (bzw. Intravasalraum).

Das Ausmaß dieser Verschiebung scheint von der Intensität der Belastung und möglicherweise dem Trainingszustand der Sportler abzuhängen. So fand sich nach dem 3. Lauf trotz Hämodilution die höchste mittlere Kupfer-Serumkonzentration.

Der Sinn einer solchen Zunahme könnte unter anderem darin liegen, daß Kupfer zusammen mit seinem Transportprotein Coeruloplasmin während Belastung an der Steuerung des Katecholamin- und Serotonin-Spiegels mehr beteiligt ist [39], als dies schon unter Ruhebedingungen angenommen wird [35, 76]. Dafür spricht auch, daß nach mehr als 30-minütiger Belastung die Coeruloplasmin-Konzentration im Serum proportional zum Kupferanstieg zunimmt, wie Harlambie durch 2-stündige Ergometerversuche zeigen konnte [39].

Coeruloplasmin ist vor allem gekennzeichnet durch seine Kupfer-Transportfunktion und seine Oxydase-Aktivität im Blut, die zur Kontrolle des Katecholamin- und Serotonin-Spiegels wesentlich beiträgt.

Über mögliche Verluste von Kupfer durch langdauernde körperliche Belastungen kann aufgrund der bis heute geringen Kenntnis nur wenig gesagt werden.

Kupferverluste über den Schweiß während Körperarbeit sind beschrieben [35], sollen jedoch insgesamt relativ gering sein. Ein Großteil der normalen Kupferausscheidung erfolgt über die Gallenflüssigkeit und den Darm [21]. Welche Rolle die Niere bei der Ausscheidung spielt, konnte

nicht in Erfahrung gebracht werden. Insofern ist der in dieser Untersuchung festgestellte Rückgang der Kupferausscheidung im Urin (Abb. 10) schwer zu interpretieren. Er spricht am ehesten für eine Retention unter Belastung. Möglicherweise ist diese Fähigkeit zur " Konservierung " vom Trainingszustand abhängig; dafür spricht der Vergleich der Vollblut-, Serum- und Urinkonzentrationen zwischen dem 1. und 3. Lauf.

Zusammenfassend läßt sich zu den Spurenelementen Zink und Kupfer sagen, daß Sportler unter Ruhebedingungen in verschiedenen Kompartimenten des Organismus auffällig niedrige Spiegel haben, die auf einen Mangel hinweisen. Noch deutlicher erscheint ein solches Defizit während einer Ausdauerbelastung, unter der noch niedrigere Konzentrationen gemessen wurden.

Eine vermehrte Zufuhr von Spurenelementen mit der Nahrung bzw. über eine orale Substitution erscheint sinnvoll, allerdings muß die Zusammensetzung der Nahrung beachtet werden, um den gewünschten Effekt erzielen zu können. Die Nichtbeachtung dieses Umstandes könnte eine Erklärung dafür sein, daß in vorliegender Arbeit kein signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe mit Spurenelement-Substitution (INZELLOVAL[®]) und den Gruppen ohne eine solche Substitution (CHAMP[®], PERIMMER[®]) gefunden wurde.

Weiterhin ist festzustellen, daß es während längerer körperlicher Belastung zu nachweisbaren Verschiebungen von Spurenelementen innerhalb der Kompartimente des Organismus kommt. Die Bedeutung bzw. Funktion dieser Verschiebungen bedarf weiterer Untersuchungen. In diesem Zusammenhang sollte auch die Frage geklärt werden, welchen Einfluß Verluste über Schweiß und Urin während Ausdauerbelastungen auf den Gehalt im Organismus bei Sportlern haben.

E. SCHLUBFOLGERUNGEN

Aufgrund der Ergebnisse und Erfahrungen der vorliegenden Studie, sowie der Aussagen in der Literatur können folgende Gedanken zur weiteren Diskussion der Thematik bzw. zur praktischen Anwendung in Training und Wettkampf angeführt werden:

Bei intensiver motorischer Ausdauerbelastung kommt es über die Schweißverdunstung zu bedeutenden Flüssigkeitsverlusten des Organismus. Ein solcher Dehydrationszustand kann die Leistungsfähigkeit des Sportlers mehr oder weniger beeinflussen, jedoch ist durch intensives Ausdauerleistungstraining eine besonders gute Dehydrationsverträglichkeit zu erzielen. Dies gilt in gleichem Maße für Jugendliche wie für Erwachsene. Als Anpassungserscheinung auf ein derartiges Training gelingt es dem Organismus des Ausdauersportlers offensichtlich, auch bei höheren Graden der Dehydration sein Plasmavolumen konstant zu halten oder gar zu vergrößern, sodaß eine Hämodilution eintritt.

Während Untrainierte bei langdauernder körperlicher Belastung zu einer Abnahme des Plasmavolumens (Hämokonzentration) neigen, tritt bei Trainierten eine Expansion des Plasmavolumens (Hämodilution) ein - bei gleichzeitig gesteigerter Schweißkapazität. Das relativ " dünne " Blut führt zu einer Herzentlastung und einer Erleichterung der Kreislauffunktion.

Diese durch gezieltes Ausdauertraining zu erreichende Fähigkeit zur Hämodilution scheint bei intensiver körperlicher Ausdauerbelastung zwischen 75 und 90 Minuten eine Grenze zu haben (bei Jugendlichen möglicherweise etwas früher). Während einer länger dauernden Belastung erscheint ab diesem Zeitpunkt eine Substitution von Flüssigkeit (Wasser) notwendig und sinnvoll. Damit kann über eine Anregung der Entwärmungsvorgänge die zunehmende Belastungshyperthermie gemildert werden, die sonst zum Leistungs-begrenzenden Faktor wird. Somit verbessert eine Flüssigkeits-Substitution während einer mehr als 75-minütigen Ausdauerleistung die körperliche Leistungsfähigkeit.

Bei einer kürzeren Belastung, wie in vorliegender Untersuchung - etwa 50 bis 60 Minuten - , ist unterwegs kein Flüssigkeitersatz notwendig. Während einer solchen Dauer ist der Organismus in der Lage, trotz Dehydration die Thermoregulation aufrecht zu erhalten, sodaß sich die Belastungshyperthermie noch nicht leistungsmindernd auswirkt.

Grundsätzlich gilt jedoch für jede Ausdauerleistung, unabhängig von ihrer Dauer: nach der Belastung ist die Rehydrierung ein wichtiger Faktor der Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit.

Als Getränk kann bei gewohnten Belastungen reines Wasser oder Tee emp-

fohlen werden und zwar ohne Zusätze (z. B. Elektrolyte), was in den folgenden Ausführungen begründet werden soll.

Obwohl im Elektrolythaushalt im Zusammenhang mit Ausdauerbelastungen eine Reihe von teilweise erheblichen Veränderungen bzw. Verschiebungen im Organismus des Sportlers auftreten, werden diese bei gutem Trainingszustand auch im jugendlichen Alter gut toleriert.

Bei Belastungen im Umfang der vorliegenden Untersuchung sind Verluste von Elektrolyten (hauptsächlich über den Schweiß) nicht leistungsmindernd. Möglicherweise sind bei Ausdauertrainierten derartige Verluste geringer als bei Untrainierten bzw. wirken sich erst später auf die Leistungsfähigkeit aus, werden also deutlich besser toleriert.

Somit kann zum Thema Elektrolyt-Substitution folgendes gesagt werden: vor, während oder nach einer gewohnten Ausdauerbelastung ist bei trainierten Ausdauersportlern bei einer ausgewogenen Ernährung eine Salz- bzw. Elektrolyt-Substitution nicht notwendig. Darin stimmen auch die Ergebnisse vorliegender Arbeit und der Literatur zu diesem Thema [8, 10, 33, 71] überein. Die Gabe von Salztabletten während Belastung kann die Leistungsfähigkeit sogar mindern [45]. Auch in der Wiederherstellungsperiode ist keine Kochsalzsubstitution erforderlich, da die bei uns übliche Mahrung reichlich Kochsalz enthält.

Eventuell ist jedoch vor einer für die Sportler außergewöhnlich langen oder ungewohnten, mehrfach hintereinander folgenden Ausdauerbelastung in der Trainingsaufbau- und Erholungsphase nach der Belastung eine Elektrolyt-Substitution (insbesondere von Kalium und Magnesium) zweckmäßig.

Nach vorliegender Studie, bei der die Jugendlichen 3 Läufe von etwa 60 Minuten Dauer absolvierten, wobei der 2. und 3. Lauf während einer 3-wöchigen Elektrolyt-Substitutionsphase stattfand, erscheint eine derartige zusätzliche Elektrolytgabe bei solchen Belastungen nicht erforderlich. Jedenfalls ergab sich im internen Vergleich Aspartat-gebundener Elektrolyte (INZELLOVAL[®]) und zweier verschiedener Elektrolyt-Getränke (CHAMP[®], PFRIMMER[®]) kein signifikanter Unterschied. Dasselbe gilt für den externen Vergleich mit anderen Arbeiten aus der Literatur, speziell mit solchen, bei denen keine Elektrolyte substituiert wurden. Eine Wirksamkeit derartiger Präparate ist demzufolge bei dieser Art Belastung sehr fraglich.

Die Aspartat-gebundenen Elektrolyte (INZELLOVAL[®]) scheinen nach der Literatur möglicherweise erst bei deutlich längeren Belastungen als hier untersucht objektiv leistungssteigernd zu sein.

Bei den beiden anderen Präparaten CHAMP[®] und PFRIMMER[®] ist kritisch zu fragen, ob nicht der darin enthaltene teilweise hohe Kohlenhydratanteil

(CHAMP*!) eine eigene Wirkung im Stoffwechsel hat, die unabhängig ist von den Elektrolyten. Untersuchungen zu dieser Frage sind erforderlich.

Die Spurenelemente (hier: Zink und Kupfer) unterscheiden sich vom übrigen Elektrolythaushalt in Ruhe und noch deutlicher unter Belastung dadurch, daß subklinische Mangelzustände nachzuweisen sind (gleichermaßen beim jugendlichen und erwachsenen Ausdauersportler). Weitere Untersuchungen über ein derartiges Defizit, sowie über mögliche Verluste durch Schweiß und Urin beim Ausdauersportler sind dringend notwendig.

Eine Substitution erscheint angebracht, allerdings ist eine alleinige orale Gabe nicht genügend, um ausreichende Spiegel im Organismus zu erreichen. Eine Bestätigung dafür ist in vorliegender Arbeit der fehlende Unterschied zwischen der INZELLOVAL* - Gruppe, die mit diesem Präparat Spurenelemente substituiert bekam, und den beiden anderen Gruppen, die mit CHAMP* und PFRIMMER* keine Spurenelemente zu sich nahmen.

Für die Wirksamkeit der Substitution ist die Art und Zusammensetzung der Nahrung sehr wichtig. Sie hat einen wesentlichen Einfluß auf die Resorption im Dünndarm und die Plasmaspiegel von Spurenelementen (speziell bei Zink und Kupfer, wahrscheinlich auch bei anderen). Insbesondere raffinierte Kohlenhydrate (Zucker und Zucker-haltige Produkte), Weißmehl (Weißbrot, Semmeln, Nudeln, geschälter Reis) und übermäßiger Proteinverzehr spielen dabei eine zentrale Rolle im Sinne einer Senkung der Plasmaspiegel von Spurenelementen und einer ungenügenden Resorption derselben aus dem Dünndarm [37].

Bedenkt man, daß Ausdauersportler größere Mengen speziell derartiger Kohlenhydrate zu sich nehmen, erscheint es sehr wichtig, diesen Zusammenhängen in Zukunft mehr Aufmerksamkeit zu widmen.

Dabei ist es notwendig, nicht nur die Plasmaspiegel der Spurenelemente zu messen, sondern zusätzlich auch die Vollblut- und intrazellulären Konzentrationen (direkt mittels Muskelbiopsie oder indirekt mittels erythrozytärer Messung) zu bestimmen, um den Gehalt im Organismus richtig beurteilen zu können.

Möglicherweise beeinflussen oben genannte Nahrungsmittel auch die Resorption und die Gewebespiegel von Elektrolyten wie Magnesium, Eisen etc.. Auch hierzu wären weitere Untersuchungen von Interesse.

Aufgrund des Vergleiches der Ergebnisse dieser Studie mit denen der Literatur, die - wie erwähnt - durch fast ausschließliche Untersuchungen an Erwachsenen gekennzeichnet ist, kann geschlossen werden, daß sich Jugendliche und Erwachsene in den untersuchten Regulationsmechanismen und deren Veränderungen während einer Ausdauerbelastung nicht unterscheiden. Demnach sind die in vorliegender Arbeit erhobenen Ergebnisse

und Schlußfolgerungen auch für den erwachsenen Sportler gültig und von Interesse.

Abschließend soll darauf hingewiesen werden, daß weitere Untersuchungen über Ausdauerbelastungen unter Realbedingungen sinnvoll erscheinen. Ergometerversuche stellen eine etwas andersartige Belastung des Organismus dar als Leistungen unter Trainings- oder Wettkampfbedingungen auf dem üblichen Gelände. In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, daß Sportler Leistungen auf dem Ergometer im allgemeinen schwerer empfinden als gleiche oder sogar höhere Belastungen beim Training oder Wettkampf in gewohnter Umgebung.

F. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, an 19 Ausdauersportlern, von denen 17 im jugendlichen Alter waren (4 weibliche und 15 männliche Sportler), die Auswirkungen des Langstreckenlaufes unter Realbedingungen zu studieren, d. h. im Rahmen des von den Sportlern gewohnten Trainings bzw. Wettkampfes in gewohnter Umgebung. Hierbei standen die Vorteile der Untersuchung unter den Bedingungen einer realen Umwelt bzw. eines realen Trainings / Wettkampfes den Nachteilen äußerer Unwägbarkeiten (Witterung) und methodischer Schwierigkeiten gegenüber.

Diese Untersuchung wurde konzipiert und durchgeführt als prospektive Beobachtungsstudie einer 4-wöchigen Trainingsphase, innerhalb derer 3 Testläufe von etwa 1 Stunde Dauer stattfanden, wobei sowohl kurzfristige Veränderungen während der Belastung als auch mögliche längerfristige Auswirkungen untersucht werden sollten. Letztere Fragestellung steht in engem Zusammenhang mit der Einnahme von Elektrolyt-Präparaten, wie sie die beteiligten Sportler über 3 Wochen der Studie zu sich nahmen (2 Gruppen mit unterschiedlichen Elektrolyt-Getränken - CHAMP[®] und PFRIMER[®] -, 1 Gruppe mit einem Präparat in Dragee-Form - INZELLOVAL[®] -, das die Elektrolyte Aspartat-gebunden enthält).

Das Untersuchungsprogramm umfaßte im wesentlichen zwei Schwerpunkte: zum einen hämatologische Größen (Ery, Hb, Hkt, MCV), um insbesondere rheologische Veränderungen sowie eventuelle Zusammenhänge mit Verschiebungen im Wasser- und Elektrolythaushalt untersuchen zu können; zum anderen Parameter des Wasser- und Elektrolythaushaltes (Na, Cl, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu im Vollblut, Erythrozyt, Serum und Urin, sowie das Körpergewicht, als eng mit dem Gesamtkörperwasser korrelierende Größe). Schließlich wurden noch Gesamt-Eiweiß und Kreatinin bestimmt.

Aufgrund der unterschiedlichen Körpergewichtsverluste und Kreatininwerte im Zusammenhang mit den Ausdauerleistungen konnte gezeigt werden, daß die Belastungsintensität bei den 3 identischen Testläufen deutlich von der herrschenden Temperatur abhängt.

Bei einer Lauf-Dauer, wie sie in vorliegender Arbeit untersucht wurde, scheint es trotz der schweißbedingten Dehydration zu einer Hämodilution zu kommen: es wurden nach den Läufen niedrigere Erythrozytenzahlen und Hämatokritwerte bei unveränderter(m) bzw. leicht fallender(m) Hämoglobinkonzentration und mittlerem Zellvolumen gefunden.

Die Expansion des Plasmavolumens (Hämodilution) während Ausdauerbelastung ist als Trainingseffekt zu werten. Das relativ dünnflüssige

Blut führt zu einer Entlastung des Herzens und Erleichterung der Kreislauffunktion, sowie zu einer Steigerung des Wärmetransportes.

Ein Modell der Entstehung einer solchen Hämodilution wurde erarbeitet und diskutiert: ADH- und Renin- bzw. Aldosteronwirkung, Salzeinsparungsmechanismen, Erhöhung des Gesamt-Eiweißes, zusätzliches beim Glykogenabbau freiwerdendes Wasser.

Schließlich wurde die Frage nach der Grenze der Hämodilutionsfähigkeit des Organismus gestellt und nach Studium der Literatur als Hypothese eine 75 - 90minütige intensive Lauf- bzw. Ausdauerbelastung angenommen. Ab dieser Zeit scheint es beim Erwachsenen wie beim Jugendlichen zu einer Hämokonzentration zu kommen. Es wurde versucht, eine solche Adaptations-Grenze des Organismus durch Ergebnisse aus anderen Bereichen sportmedizinischer Untersuchungen zu belegen.

Im Elektrolyt-Haushalt konnten eine Reihe von teilweise deutlichen Veränderungen bzw. Verschiebungen infolge der Läufe aufgezeigt werden, die jedoch von den ausdauertrainierten Jugendlichen gut toleriert wurden.

Anhand gestiegener Natrium- und Chlorid-Konzentrationen im Vollblut und Serum bzw. Erythrozyt konnte eine erhöhte Osmolarität trotz gleichzeitiger Hämodilution nachgewiesen werden, was für sehr wirksame Salzeinsparungsmechanismen des Organismus während einer Ausdauerbelastung spricht, sodaß es trotz teilweise großen Flüssigkeitsverlusten über den Schweiß bei (gewohnten) Belastungen zu keinen größeren Salzverlusten kommt.

Der Anstieg der Chlorid-Serumkonzentration bzw. der Rückgang der Chlorid-Urinausscheidung ging deutlich über die entsprechenden Natrium-Veränderungen hinaus, was durch die wichtige Rolle Chlorids in der Regulation des Säure-Basen-Haushalts erklärt werden kann.

Im Kalium-Haushalt fanden sich nur geringfügige Veränderungen, wodurch die Aussagen der Literatur bestätigt werden konnten, daß unter normalen klimatischen und diätetischen Bedingungen eine Kalium-Verarmung bei gewohnten Ausdauerbelastungen nicht zu erwarten ist.

Dies gilt ebenso für Calcium und Magnesium, deren Konzentrationen auch unter Belastung stabil blieben, speziell was die Vollblutspiegel anbetrifft. Eine Ausnahme bildeten die deutlich gestiegenen Magnesium-Erythrozytenkonzentrationen bei entsprechend gefallenem Serumspiegeln, was für eine Magnesiumverschiebung nach intrazellulär spricht und durch den erhöhten Bedarf der Muskelzelle während Belastung erklärt sein könnte.

Die Spurenelemente Zink und Kupfer unterschieden sich von den anderen Elektrolyten in Ruhe und noch deutlicher nach Belastung dahingehend,

daß subklinische Mangelzustände nachzuweisen waren. So hatten die Sportler bereits in Ruhe deutlich erniedrigte Vollblutkonzentrationen, die an der Grenze des Normalbereiches (Zink) bzw. sogar darunter (Kupfer) lagen und unter Belastung noch weiter abnahmen. Gleiches konnte für den Zinkspiegel im Serum und den erythrozytären Kupfergehalt gezeigt werden. Mögliche Ursachen eines solchen Defizits wurden diskutiert und auf den wesentlichen Einfluß von Art und Zusammensetzung der Nahrung auf die Resorption von Spurenelementen hingewiesen.

Insgesamt läßt sich sagen, daß bei Belastungen im Umfang der vorliegenden Untersuchung Verluste von Elektrolyten (hauptsächlich über den Schweiß) sich nicht leistungsmindernd auswirken. Eine Substitution erscheint bei gewohnten Ausdauerbelastungen nicht notwendig, allenfalls die Gabe von Spurenelementen wäre sinnvoll, jedoch muß dabei Art und Zusammensetzung der Nahrung genau beachtet werden, um die gewünschte Steigerung der Blut- bzw. Gewebespiegel zu erzielen.

Im Zusammenhang mit dieser nicht gegebenen Notwendigkeit einer zusätzlichen Elektrolyt-Gabe erscheint auch die Wirksamkeit der getesteten Präparate bei einer Belastungsdauer wie im vorliegenden Versuch fraglich. Jedenfalls konnte kein signifikanter Einfluß auf Vollblut-, Erythrozyten- oder Serum-Elektrolytspiegel bzw. auf die Konzentrationen im Urin nachgewiesen werden. Auch im internen Vergleich der 3 Gruppen ergab sich kein Unterschied, der auf die Präparate zurückzuführen gewesen wäre. Dasselbe gilt für den externen Vergleich mit anderen Arbeiten aus der Literatur, speziell mit solchen, bei denen keine Elektrolyte substituiert wurden.

In einem abschließenden Kapitel wurden aus den Ergebnissen dieser Studie und der zur Thematik vorliegenden Literatur Schlußfolgerungen für die Praxis in Training und Wettkampf gezogen.

Jugendliche und Erwachsene scheinen sich in den untersuchten Regulationsmechanismen und deren Veränderungen während einer Ausdauerbelastung nicht zu unterscheiden.

6. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. Ahlborg B, Ekelund LG, Nilson CG (1968) Effect of potassium-magnesium-aspartate on the capacity for prolonged exercise in man. Acta Physiol Scand 74:238
2. Bailar III J, Louis TA, Lavori PW, Polansky M (1984) Statistic in Practise. Studies without internal controls. N Engl J Med 311:156
3. van Beaumont W, Greenleaf JE, Juhos L (1972) Disproportional changes in hematocrit, plasma volume and proteins during exercise an bed rest. J Appl Physiol 33:55
4. Berg A (1977) Skilanglauf und Elektrolytveränderungen. Schweiz Z Sportmed 25:185
5. Berghold F (1982) Flüssigkeits- und Elektrolytersatz unter sportlicher Belastung. Österr J Sportmed 12:19
6. Bichler KH, Lachmann E, Porzolt F (1972) Untersuchungen zur mechanischen Hämolyse bei Langstreckenläufern. Sportarzt und Sportmedizin 1:9
7. Böhmer D (1972) Die Beurteilung von Leistungsfähigkeit und Trainingszustand im Blutserum. Sportarzt und Sportmedizin 23:6
8. Böhmer D (1981) Der Einfluß des Hochleistungssportes auf den Wasser-Salzhaushalt. In: Rieckert H (Hrsg) Sport an der Grenze menschlicher Leistungsfähigkeit. Springer, Berlin Heidelberg New York S 188 - 192
9. Böhmer D, Böhlau R (1976) Loss of Potassium an Sodium by Athlets after Long Lasting Performance and the Experiment of Substituting It. Vortrag Internat Congress of Physical Activity Sciences, Physical Activity and Human Well-Being, Quebec
10. Böhmer D, Hoffmann G (1981) Elektrolytgaben bei ausdauertrainierten älteren Sportlern. In: Hecker G u.a. (Hrsg) Schulsport - Leistungssport - Breitensport. Hans Richarz, St. Augustin S 78 - 82
11. Bresch H, Jung K (1979) Beeinflussung des roten Blutbildes durch Langstreckenlauf. Condition 10,5:9 und 10,6:15

12. Brotherhood J, Brozoric B, Pugh LGC (1975) Haematological status of middle- and long-distance runners. Clin Sci 48:139
13. Cesnik H, List W (1970) Vergleichende Untersuchung des Erythrozyten- und Muskelkaliums. Wien Klin Wochenschr 82:739
14. Claus G, Ebner H (1975) Grundlagen der Statistik für Psychologen, Pädagogen und Soziologen. Harri Deutsch, Frankfurt a M und Zürich
15. Cohen J, Zimmermann AL (1978) Changes in Serum Electrolyte Levels during Maraton Running. S Afr Med J 53:449
16. Colt EWD (1979) Effect on body water of running 10 miles. J Appl Physiol 45:999
17. Costill DL, Cote R, Fink W (1976) Muscle water and electrolytes following varied levels of dehydration in man. J Appl Physiol 40:6
18. Costill DL, Fink W (1974) Plasma volume changes following exercise and thermal dehydration. J Appl Physiol 37:521
19. Costill DL, Saltin B (1975) Muscle Glykogen and Electrolytes Following Exercise and Thermal Dehydration. In: Howald H, Poortmans JR (Hrsg) Metabolic Adaption to Prolonged Physical Exercise. Birkhäuser, Basel S 339 - 370
20. Deetjen P (1976) Die physiologische Bilanzierung von Wasser, Elektrolyten und Nahrungsstoffen. Infusionsther Klin Ernähr 3:67
21. Denk Giebel G (1982) Auswirkungen des Langstreckenlaufes auf Elektrolyt-, Protein- und Katecholamin-Konzentrationen im Plasma. Dissertation, Frankfurt am Main
22. Dressendorfer RH, Sockolov R (1980) Hypozincemia in runners. Physician Sports Med 8:97
23. Dulce HJ, Albrecht HJ (1981) Einfluß von Kalium-Magnesium-Aspartat auf Stoffwechsel und Leistung unter Höhenbelastung bis 5700 m. Therapiewoche 31:5915
24. Ernst E, Matrai A, Aschenbrenner E (im Druck) Blood rheology in athletes. J Sports Med Phys Fitness
25. Ernst E, Matrai A, Aschenbrenner E, Will V, Schmidlechner C (im Druck) Relationship between fitness an blood fluidity. Clin Hemorheol

26. Ernst E, Schmid M, Matrai A (eingereicht) Intraindividual changes of hemorheological and other variables by regular exercise. Atherosclerosis
27. Francis KT (1979) Effect of water and electrolyt replacement during exercise in the heat on biochemical indices of stress and performance. *Aviat Space Environ Med* 50:115
28. Franz IW (1977) Über die Wirkung des Kalium-Magnesium-Aspartates auf die Ausdauerleistung unter besonderer Berücksichtigung des Kaliums und des Magnesiums. *Sportarzt und Sportmedizin* 28:73
29. Franz IW, Chintanaseri C (1977) Über die Wirkung des Kalium-Magnesium-Aspartats auf die Ausdauerleistung unter besonderer Berücksichtigung des Aspartats. *Sportarzt und Sportmedizin* 2:35
30. Geigy Pharmazeutika (1979) Wissenschaftliche Tabellen Geigy. Ciba Geigy, Basel, 8. Auflage
31. Gleichmann U, Stuckrad H, Zindler M (1965) Intracellulärer Säurebasen- und Elektrolythaushalt. *Zeitschrift für die gesamte experimentelle Medizin* 139:255
32. Haber P, Linkesch W, Burghuber O (1984) The Influence of an Endurance Training on the Red Blood Cell Count an the Iron Metabolism. In: Bachl N u.a. (Hrsg) *Current Topics in Sport Medicine*. Urban und Schwarzenberg, Wien München Baltimore
33. Hagan RD, Upton SJ, Duncan JJ, Cummings JM, Gettman LR (1982) Absence of Effect of Potassium-Magnesium Aspartate on Physiologic Responses to Prolonged Work in Aerobically Trained Men. *Int J Sports Med* 3:177
34. Halsted J, Smith JC, Irwin JM (1974) A conspectus of research on zinc requirements of man. *J Nutrit* 104:345
35. Harlambie G (1975) Changes in Electrolytes and Trace Elements During Long - Lasting Exercise. In: Howald H, Poortsmans JR (Hrsg) *Metabolic Adaption to Prolonged Physical Exercise*. Birkhäuser, Basel S 339 - 370
36. Harlambie G (1981) Electrolytes, Trace Elements and Vitamins in Exercise. *Medicine Sport* 13:134
37. Harlambie G (1981) Serum Zinc in Athletes in Training. *Int J Sports Med* 2:135

38. Harlambie G, Berg A (1979) Veränderungen physiologischer und biochemischer Größen nach Ausdauerbelastungen bei Frauen mit und ohne Kalzium - Substitution. *Med Welt* 30:1233
39. Harlambie G, Keul J (1970) Das Verhalten von Serum-Coeruloplasmin und-Kupfer bei langdauernder Körperbelastung. *Ärztliche Forschung* 24:112
40. Harrison MH, Edwards RJ, Leitch DR (1975) Effect of exercise and thermal stress on plasma volume. *J Appl Physiol* 39:925
41. Hetland O, Brubak EA, Refsum HE, Strömne SB (1975) Serum and Erythrocyte Zinc Concentrations After Prolonged Heavy Exercise. In: Howland H, Poortsmans JR (Hrsg) *Metabolic Adaption to Prolonged Physical Exercise*. Birkhäuser, Basel S 339 - 370
42. Israel S (1980) Die physiologischen Auswirkungen einer schweißbedingten Dehydration. *Med u Sport* 20:300
43. Israel S (1982) Organismische Störungen infolge Wärmeeinwirkung beim Sport. *Med u Sport* 22:257
44. Israel S (1982) Wasser- und Elektrolytsubstitution bei schweißbedingter Dehydration. *Med u Sport* 22:2
45. Jooste PL, Schoeman JJ, Wolfswinkel JH, Strydom NB (1980) Die effek van souttablette op fisiologiese maatstawwe gedurende oefening. *S Afr J Res Sports Phys Educ Recreat* 3:27
46. Keul J, Dickhuth HH, Berg A, Simon G (1979) Elektrolytbedarf und Wasserhaushalt bei sportlichen Belastungen. *Leistungssport* 9:497
47. Keul J, Harlambie G, Winker KH, Baumgartner A, Bauer G (1974) Die Wirkung eines Multivitamin-Elektrolyt-Granulats auf Kreislauf und Stoffwechsel bei langwährender Körperarbeit. *Schweiz Z Sportmed* 4: 169
48. Keul J, Huber G, Schmitt M, Spielberger B, Zöllner G (1979) Die Veränderungen von Kreislauf- und Stoffwechselgrößen bei Kindern während eines Skilanglaufes unter einem Multivitamin-Elektrolyt-Granulat. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 3:65
49. Kindermann W, Keul J, Lehmann M (1979) Ausdauerbelastungen beim Heranwachsenden - Metabolische und kardiozirkulatorische Veränderungen. Stoffwechsel- und Herz-Kreislauf-Veränderungen bei einem 10-Km-Wettkampf 11- bis 14-jähriger Jungen. *Fortschr Med* 97:659

50. Kirsch K, Laniado M, Röcker L (1982) Die Bedeutung des Salz-Wasserhaushalts für die körperliche Leistungsfähigkeit unter normalen und extremen Umweltbedingungen. In: Groher W, Noack W (Hrsg) Sportliche Belastungsfähigkeit des Haltungs- und Bewegungsapparates. Thieme, Stuttgart New York S 54 - 64
51. Letcher RL, Pickering TG, Chien S, Laragh JH (1981) Effects of Exercise on Plasma Viscosity in Athlets and Sedentary Normal Subjects. Clin Cardiol 4:172
52. de Marees H (1979) Sportphysiologie. In: Reihe Medizin von Heute. Troponwerke, Köln-Mühlheim 2. Auflage
53. Margongin F, Holtmeier HJ, von Klein-Wisenberg A (1966) Zur Bestimmung des Mineralgehalts in Erythrozyten. Klin Wochenschr 44:1405
54. Maron MB, Horvath SM, Wilkerson JE (1975) Acute blood biochemical alterations in response to marathon running. J Appl Physiol 34:134
55. Maron MB, Horvath SM, Wilkerson JE (1977) Blood Biochemical Alterations during Recovery. Eur J Appl Physiol 36:231
56. Martin RP, Haskell WL, Wood PD (1977) Blood chemistry and lipid profiles of elite distance runners. Ann NY Acad Sci 301:346
57. Müller-Limmroth W (1968) Die Physiologie des Wasser- und Elektrolythaushalts. Hippokrates 22:839
58. Myhre LG, Hartung GH, Tucker DM (1982) Plasma volume and blood metabolites in middle-aged runners during a warm-weather marathon. Eur J Appl Physiol 48:227
59. Neumann G (1984) Stoffwechselprobleme beim Ausdauerlauf. Medizin und Sport 24:49
60. Novosadova J (1977) The Changes in Hematocrit, Hemoglobin, Plasma Volume and Proteins during and after Differnt Types of Exercise. Eur J Appl Physiol 36:223
61. Pabst H (1980) Über den Einfluß einer einmaligen Elektrolytgabe auf Ausdauerleistungsfähigkeit von Langläufern. Physiotherapie 71:88
62. Persigehl M, Höck A, Kasperek K, Land E, Findegen L (1974) Änderung der Zinkkonzentration im Serum bei verschiedenen Stoffwechselsituationen. Z Klin Chem Klin Biochem 12:171

63. Porzolt F, Wagner D, Bichler KH (1973) Das Serumkreatinin und die Nierenfunktion unter körperlicher Belastung. Sportarzt und Sportmedizin 2:27
64. Raas E (1970) Unterschiedliches Verhalten von biologischen Größen in Abhängigkeit von Sportart, Intensität und Dauer. Sportarzt und Sportmedizin 21:283
65. Refsum HE, Tveit B, Meen HD, Strömne SB (1973) Serum Electrolyte, Fluid and Acid-Base Balance after Prolonged Heavy Exercise at Low Environmental Temperature. Scand J Clin Lab Invest 32:117
66. Riecker G (1957) Über den intracellulären Wasser- und Elektrolytstoffwechsel. Klin Wochenschr 35:1158
67. Ring K, Schwarz M, Foit B, Ehle H (1977) Untersuchungen zum Mechanismus der Beeinflussung der Kaliumaufnahme und zellulären Kaliumretention durch Aspartat und Glutamat. In: Henschel WF (Hrsg) Die Rolle von Kalium-Magnesium-Aspartat in der operativen Medizin und Intensivtherapie. Schattauer, Stuttgart New York S 7 - 19
68. Röcker L, Kirsch KA, Stoboy H, Mund U (1975) The role of plasma proteins in the control of plasma volume during exercise and dehydration in long distance runners and cyclists. In: Howland H, Poortmans JR (Hrsg) Metabolic Adaption to Prolonged Physical Exercise. Birkhäuser, Basel
69. Sachs L (1974) Angewandte Statistik. Springer, Berlin Heidelberg New York, 4. Auflage
70. Sawka MN, Francesconi RP, Young AJ, Pandolf KB (1984) Influence of Hydration Level and Body Fluids on Exercise Performance in the Heat. JAMA 252:1165
71. Schaper W (1981) Sinn und Unsinn des Elektrolytersatzes bei Ausdauerbelastungen. Condition 12:12
72. Scharschmidt F, Neumann G (1971) Veränderungen des Hämatokritwertes bei Ausdauerbelastungen im Sport. Medizin und Sport 11:343
73. Scheele K, Herzog W, Ritthaler G, Wirth A, Weicker H (1979) Metabolic adaptation to prolonged exercise. J Appl Physiol 41:101
74. Schroll A, Struck E, Mendler N (1977) Intraerythrozytäre Elektrolyt-Messungen. Diagnostik 10:115

75. Senay LC, Kok R (1977) Effects of training and heat acclimatization on blood plasma contents of exercising men. J Appl Physiol 43: 591
76. Siegenthaler W (1976) Klinische Pathphysiologie. Thieme, Stuttgart 3. Auflage
77. Struck E, Meisner H, Reymann B, Schmidt-Habelmann P, Sebening F (1969) Störungen des Elektrolytstoffwechsels durch extrakorporale Zirkulation und deren Behandlung. Arzneimittelforsch 1:113
78. Stucke K, Kron W, Schardt G, Ertel HH, Schiller R (1979) Der Einfluß oraler Magnesiumzufuhr auf die Leistungsfähigkeit des menschlichen Organismus unter standardisierter ergometrischer Belastung. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 1:22
79. Sunder-Plassmann L (1970) Extreme Hämodilution mit Gelatinelösungen. Grenzen und Adaptationsmechanismen. Dissertation, München
80. Underwood EJ (1977) Trace elements in human and animal nutrition. Academic Press, New York Chap 8
81. Wilkerson JE (1982) Plasma electrolyte content and concentration during treadmill exercise in humans. J Appl Physiol 53:1529

H. A N H A N G

Anhang 1: Teilnehmerliste mit Randomisierungsplan

Anhang 2: Einzelergebnisse

Anhang 1: Teilnehmerliste mit Randomisierungsplan

Nr.	Alter	Größe	Gewicht	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III
	Jahre			Elektrolyt- Dragees (INZELLOVAL®)	Elektrolyt- Getränk a (CHAMP®)	Elektrolyt- Getränk b (PFRIMMER®)
	♂/♀					
1	19 ♂	181 cm	78 Kg	X		
2	15 ♂	175 cm	63 Kg		X	
3	19 ♂	175 cm	65 Kg	X		
4	14 ♀	156 cm	42 Kg			X
5	15 ♂	170 cm	59 Kg	X		
6	17 ♂	178 cm	63 Kg			X
7	38 ♂	178 cm	77 Kg	X		
8	17 ♂	175 cm	65 Kg			X
9	15 ♂	176 cm	56 Kg	X		
10	16 ♂	173 cm	70 Kg		X	
11	16 ♀	166 cm	49 Kg	X		
12	14 ♂	165 cm	48 Kg			X
13	17 ♂	178 cm	78 Kg		X	
14	16 ♂	175 cm	60 Kg			X
15	-----			entfällt	-----	
16	14 ♀	146 cm	35 Kg			X
17	46 ♂	175 cm	72 Kg		X	
18	16 ♂	179 cm	72 Kg		X	
19	18 ♂	176 cm	64 Kg	X		
20	15 ♀	167 cm	53 Kg		X	

Anhang 2:

E I N Z E L E R G E B N I S S E :

Die einzelnen Ergebnisse sind in der unter " C. ERGEBNISSE UND GRAPHISCHE DARSTELLUNGEN " aufgeführten Reihenfolge dargestellt.

Einzelergebnisse: ERYTHROZYTEN (Mio / μ l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	5,16	5,25	5,15	4,82	1
	4,93	5,07	5,23	4,95	3
	5,26	5,67	5,55	5,30	5
	5,37	5,14	5,32	5,02	7
	5,00	4,93	4,77	4,74	9
	4,83	4,44	4,39	4,29	11
	4,69	4,64	4,58	4,56	19
	-	-	-	-	
M	5,034	5,020	4,999	4,811	
S	0,242	0,404	0,425	0,327	

Gruppe II	4,79	4,98	5,25	5,02	2
	5,83	5,46	5,35	5,32	10
	5,75	5,39	5,53	5,82	13
	5,16	5,08	4,82	4,51	17
	4,92	4,85	4,82	4,84	18
	4,84	4,98	4,94	4,63	20
	-	-	-	-	
M	5,220	5,178	5,118	5,023	
S	0,459	0,231	0,300	0,485	

Gruppe III	5,02	4,88	4,94	4,88	4
	5,05	5,05	5,15	4,80	6
	5,35	5,03	5,15	4,91	8
	4,67	4,42	4,35	4,62	12
	5,22	4,89	4,78	4,58	14
	4,66	4,31	4,44	4,42	16
	-	-	-	-	
M	4,995	4,763	4,802	4,702	
S	0,282	0,318	0,346	0,193	
=====					
Gesamt - M	5,081	4,978	4,974	4,844	[n = 19]
Gesamt - S	0,332	0,359	0,368	0,359	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: HÄMATOKRIT (Vol%)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	45,7	46,7	44,4	42,1	1
	39,7	40,0	41,4	38,7	3
	44,0	45,3	45,2	43,8	5
	47,5	44,7	46,8	42,3	7
	43,1	41,7	39,6	39,8	9
	44,2	39,9	39,6	37,7	11
	40,1	39,2	38,8	38,3	19
	-	-	-	-	
M	43,47	42,50	42,26	40,39	
S	2,821	3,024	3,181	2,346	

Gruppe II	38,8	40,6	42,3	40,0	2
	48,6	44,4	44,0	43,2	10
	48,9	44,8	45,4	43,8	13
	45,5	44,7	42,5	39,1	17
	42,2	40,5	39,2	39,3	18
	40,6	40,1	39,5	36,8	20
	-	-	-	-	
M	44,10	42,92	42,15	40,37	
S	4,224	2,357	2,444	2,661	

Gruppe III	40,8	39,6	39,8	39,0	4
	43,1	42,5	43,6	40,7	6
	47,4	42,8	44,4	41,4	8
	38,5	36,6	36,0	37,8	12
	44,6	41,7	40,9	37,9	14
	41,3	37,6	39,0	39,0	16
	-	-	-	-	
M	42,62	40,13	40,62	39,30	
S	3,131	2,621	3,095	1,467	
=====					
Gesamt - M	43,40	41,83	41,71	40,04	[n = 19]
Gesamt - S	3,271	2,847	2,876	2,160	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: HÄMOGLOBIN (g %)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	16,6	16,4	17,0	15,5	1
	14,0	14,5	15,3	14,2	3
	15,7	17,1	16,3	15,9	5
	16,2	16,7	16,8	15,9	7
	15,6	15,6	15,1	15,0	9
	15,3	14,8	14,8	14,2	11
	14,0	14,8	14,8	14,3	19
	-	-	-	-	
M	15,34	15,70	15,73	15,00	
S	1,010	1,042	0,948	0,779	

Gruppe II	14,0	14,8	15,7	14,9	2
	17,0	16,9	16,5	16,1	10
	16,6	16,9	17,3	16,4	13
	16,1	16,8	16,2	14,7	17
	14,7	14,8	15,2	14,9	18
	14,4	15,3	15,3	13,8	20
	-	-	-	-	
M	15,47	16,14	16,03	15,13	
S	1,258	1,011	0,799	0,961	

Gruppe III	14,5	14,2	14,3	14,4	4
	15,0	15,3	15,4	14,3	6
	16,8	15,8	16,4	15,6	8
	14,2	13,6	13,5	13,7	12
	15,6	15,1	14,8	14,4	14
	15,0	14,2	14,9	14,4	16
	-	-	-	-	
M	15,18	14,70	14,88	14,47	
S	0,926	0,829	0,983	0,619	

=====
 Gesamt - M 15,33 15,49 15,56 14,87 [n = 19]
 Gesamt - S 1,015 1,091 0,992 0,805
 =====

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
 n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: Mittleres Zellvolumen

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	88	90	87	88	1
	80	80	80	79	3
	83	82	82	84	5
	89	89	89	85	7
	85	86	83	85	9
	91	91	90	88	11
	84	86	85	84	19
	-	-	-	-	
M	85,7	86,3	85,1	84,7	
S	3,82	4,11	3,72	3,04	

Gruppe II	80	83	81	81	2
	83	83	83	82	10
	85	85	83	82	13
	90	90	89	87	17
	85	83	82	82	18
	82	82	81	80	20
	-	-	-	-	
M	84,2	84,6	83,2	82,3	
S	3,43	3,21	2,99	2,42	

Gruppe III	81	83	81	80	4
	85	86	85	85	6
	88	87	87	85	8
	83	84	82	82	12
	85	87	86	83	14
	88	88	88	89	16
	-	-	-	-	
M	85,0	85,8	84,8	84,0	
S	2,76	1,94	2,79	3,10	
=====					
Gesamt - M	85,0	85,7	84,4	83,7	[n = 19]
Gesamt - S	3,27	3,16	3,17	2,90	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: K Ö R P E R G E W I C H T (K g)

	1. Lauf		2. Lauf		3. Lauf		Probanden- Nummer
	vor	nach	vor	nach	vor	nach	
Gruppe I	72,2	71,1	72,5	71,0	72,4	71,2	1
	68,4	67,0	68,4	66,7	68,4	66,5	3
	63,1	61,6	62,5	61,2	62,5	61,0	5
	79,7	77,8	78,8	76,7	79,0	77,0	7
	56,5	55,6	57,0	55,8	56,9	55,7	9
	47,9	47,4	47,9	47,5	47,5	46,8	11
	63,7	62,7	63,6	62,4	62,1	60,9	19
	--	--	--	--	--	--	
M	64,5	63,3	64,4	63,0	64,1	62,7	
S	10,4	10,0	10,2	9,7	10,4	10,0	

Gruppe II	66,7	64,8	65,6	64,6	66,2	64,1	2
	67,8	66,7	68,6	67,7	68,6	67,4	10
	81,8	79,3	79,3	78,7	80,0	78,2	13
	74,6	73,4	74,6	73,5	76,3	75,0	17
	72,2	71,0	72,0	70,7	70,5	69,0	18
	55,8	55,2	56,0	55,4	56,7	56,3	20
	--	--	--	--	--	--	
M	69,3	67,9	69,3	68,4	69,7	68,3	
S	9,7	9,1	8,1	8,0	8,2	7,8	

Gruppe III	43,0	42,4	43,0	42,4	43,6	43,0	4
	63,1	61,2	62,7	61,2	64,8	63,0	6
	66,4	65,2	66,2	64,8	65,4	64,0	8
	48,0	47,3	48,1	47,1	48,0	47,2	12
	56,4	55,8	56,7	56,2	56,0	54,9	14
	34,7	34,3	34,3	33,9	34,3	33,9	16
	--	--	--	--	--	--	
M	51,9	51,0	51,8	50,9	52,0	51,0	
S	12,2	11,8	12,2	11,9	12,3	11,8	

Gesamt - M	61,7	60,5	62,0	60,9	62,1	60,8	[n = 19]
Gesamt - S	12,6	12,1	12,2	11,9	12,3	11,9	

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen, n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergbnisse: N A T R I U M im VOLLBLUT (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	75,10	77,62	81,14	81,40	1
	80,39	83,75	83,91	87,27	3
	73,00	76,78	91,14	81,40	5
	79,13	83,58	67,97	78,88	7
	78,88	82,23	83,91	81,40	9
	80,56	83,07	86,85	82,65	11
	83,91	82,49	83,75	88,11	19
	-	-	-	-	
M	78,71	81,36	82,67	83,02	
S	3,631	2,903	7,210	3,394	

Gruppe II	82,32	83,91	87,69	85,59	2
	74,26	78,04	74,43	79,13	10
	73,42	78,29	78,71	78,71	13
	76,53	78,04	82,32	88,11	17
	78,04	80,23	83,49	83,91	18
	83,83	82,23	83,91	85,59	20
	-	-	-	-	
M	78,07	80,10	81,76	83,51	
S	4,237	2,776	4,607	3,800	

Gruppe III	81,06	82,91	81,40	85,59	4
	78,88	82,23	83,49	85,59	6
	71,07	78,88	79,97	80,56	8
	80,56	86,43	90,63	85,59	12
	80,47	82,65	87,27	85,59	14
	79,72	83,91	87,69	85,59	16
	-	-	-	-	
M	78,63	82,84	85,08	84,75	
S	3,779	2,455	4,113	2,053	
=====					
Gesamt - M	78,48	81,50	83,14	83,72	[n = 19]
Gesamt - S	3,665	2,788	5,468	3,096	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: N A T R I U M im ERYTHROZYTEN (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	9,95	8,71	10,07	9,77	1
	10,02	10,88	10,12	12,14	3
	9,52	6,09	9,20	11,20	5
	8,24	9,33	7,95	10,96	7
	8,56	8,97	9,03	10,53	9
	10,20	9,97	9,41	10,98	11
	9,94	10,19	8,87	10,32	19
	-	-	-	-	
M	9,49	9,16	9,24	10,84	
S	0,77	1,55	0,75	0,75	

Gruppe II	9,99	10,42	9,40	11,55	2
	9,21	9,70	8,82	10,91	10
	8,68	9,45	9,20	10,72	13
	8,42	10,48	11,34	11,58	17
	9,34	9,52	9,89	11,13	18
	10,02	9,40	8,68	10,91	20
	-	-	-	-	
M	9,27	9,89	9,55	11,13	
S	0,66	0,52	0,97	0,36	

Gruppe III	10,05	10,74	9,56	10,59	4
	10,34	10,25	8,90	10,75	6
	9,45	9,47	8,11	10,34	8
	9,29	8,73	9,03	9,83	12
	10,03	10,20	9,18	11,37	14
	8,88	10,55	9,27	10,62	16
	-	-	-	-	
M	9,67	9,99	9,01	10,58	
S	0,55	0,75	0,49	0,50	
=====					
Gesamt - M	9,481	9,641	9,265	10,85	[n = 19]
Gesamt - S	0,658	1,110	0,754	0,587	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelerggebnisse: N A T R I U M im SERUM (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	145,6	139,2	143,5	143,5	1
	142,6	140,6	142,8	155,0	3
	138,5	142,8	146,4	152,1	5
	146,4	141,3	140,6	149,2	7
	140,6	138,5	143,5	149,2	9
	144,9	139,2	136,3	143,5	11
	143,3	140,6	140,0	149,9	19
	-	-	-	-	
M	143,1	140,3	141,9	148,9	
S	2,831	1,477	3,236	4,222	

Gruppe II	140,6	138,2	142,5	153,5	2
	143,0	139,2	141,3	146,4	10
	144,2	141,3	139,6	143,5	13
	135,6	141,3	140,6	147,1	17
	142,3	141,0	141,3	143,5	18
	139,1	142,8	133,8	142,8	20
	-	-	-	-	
	-	-	-	-	
M	140,8	140,6	139,9	146,1	
S	3,118	1,839	3,113	4,006	

Gruppe III	143,5	137,7	141,6	150,7	4
	146,4	143,5	141,0	153,5	6
	142,2	139,9	140,2	149,2	8
	139,2	139,9	138,6	144,9	12
	148,5	140,6	137,7	146,4	14
	141,6	139,9	135,2	142,8	16
	-	-	-	-	
	-	-	-	-	
M	143,6	140,3	139,0	147,9	
S	3,382	1,874	2,437	3,953	

=====
 Gesamt - M 142,5 140,4 140,3 147,7 [n = 19]
 Gesamt - S 3,169 1,617 3,072 4,019
 =====

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
 n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: N A T R I U M im URIN (mmol/d)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer	
Gruppe I	160,5	129,7	199,4	131,5	1	
	219,2	190,2	164,2	135,8	3	
	159,1	154,4	191,4	212,4	5	
	222,3	168,6	116,4	172,9	7	
	151,9	112,4	182,1	104,2	9	
	150,6	117,9	70,4	149,4	11	
	218,6	145,7	121,8	112,4	19	
	-	-	-	-		
	M	183,2	145,6	149,4	145,5	
S	34,68	28,04	47,69	37,27		

Gruppe II	198,2	165,5	188,9	170,4	2	
	197,0	187,7	226,0	179,0	10	
	192,0	222,3	139,5	165,4	13	
	135,6	167,9	156,2	200,0	17	
	142,3	165,7	200,0	175,3	18	
	139,2	129,7	177,2	175,3	20	
	-	-	-	-		
	M	167,4	174,6	181,3	177,6	
	S	31,20	33,88	30,98	11,96	

Gruppe III	165,5	121,1	150,0	180,3	4	
	186,5	188,9	148,2	201,3	6	
	179,7	119,8	143,2	180,3	8	
	158,0	181,5	176,6	216,1	12	
	197,5	124,1	185,2	187,7	14	
	134,6	154,4	178,4	121,0	16	
	-	-	-	-		
	M	170,3	148,3	163,6	181,1	
	S	22,54	31,39	18,40	32,53	
=====						
Gesamt - M	174,1	154,5	164,0	166,9	[n = 19]	
Gesamt - S	29,40	31,67	36,08	32,86		
=====						

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: K A L I U M im VOLLBLUT (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	48,34	48,11	49,49	47,42	1
	43,37	42,44	44,29	43,73	3
	48,11	47,88	49,03	47,88	5
	44,19	46,96	40,37	45,79	7
	44,19	44,56	41,66	43,87	9
	46,37	43,27	42,35	44,19	11
	41,75	43,04	41,89	44,79	19
	-	-	-	-	
M	45,19	45,18	44,15	45,38	
S	2,483	2,421	3,678	1,700	

Gruppe II	40,28	41,43	43,04	43,73	2
	48,34	46,96	42,35	46,73	10
	48,34	47,88	49,26	47,19	13
	45,44	46,27	45,67	45,30	17
	44,75	44,34	43,64	46,04	18
	44,19	44,19	45,81	41,89	20
	-	-	-	-	
	-	-	-	-	
M	45,22	45,35	44,96	45,15	
S	3,007	2,576	2,528	2,006	

Gruppe III	44,65	42,72	40,42	42,49	4
	46,73	46,96	45,35	46,04	6
	47,88	43,73	43,46	44,66	8
	43,73	43,50	40,97	42,58	12
	45,30	45,12	43,04	43,37	14
	44,33	41,43	41,71	43,50	16
	-	-	-	-	
	-	-	-	-	
M	45,44	43,91	42,49	43,77	
S	1,576	1,925	1,824	1,359	
=====					
Gesamt - M	45,28	44,80	43,88	44,80	[n = 19]
Gesamt - S	2,295	2,269	2,876	1,766	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: K A L I U M im ERYTHROZYTEN (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	100,9	98,0	106,2	106,6	1
	103,0	100,7	101,3	106,7	3
	104,0	100,4	102,9	107,0	5
	88,2	99,8	81,7	102,9	7
	96,7	100,8	98,5	104,0	9
	100,7	102,4	100,7	110,6	11
	98,2	103,6	100,9	109,8	19
	-	-	-	-	
M	98,82	100,8	98,89	106,8	
S	5,320	1,787	7,947	2,786	

Gruppe II	97,8	96,8	96,2	103,6	2
	95,1	100,7	91,1	103,1	10
	94,3	101,7	103,3	102,8	13
	94,8	98,9	102,7	109,8	17
	100,2	103,5	104,8	111,0	18
	103,0	103,6	108,8	107,1	20
	-	-	-	-	
M	97,52	100,3	101,1	106,2	
S	3,495	2,603	6,403	3,598	

Gruppe III	103,5	102,3	95,6	102,6	4
	103,1	105,0	98,4	106,9	6
	95,5	96,8	92,3	102,1	8
	106,5	110,3	105,6	105,5	12
	96,6	102,7	99,3	108,1	14
	101,1	103,8	100,5	105,4	16
	-	-	-	-	
M	101,2	103,5	98,61	105,1	
S	4,000	4,359	4,511	2,355	
=====					
Gesamt - M	99,16	101,6	99,51	106,1	[n = 19]
Gesamt - S	4,428	3,207	6,278	2,873	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: K A L I U M im SERUM (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	4,12	4,37	4,22	4,37	1
	4,09	3,63	3,99	3,81	3
	4,22	4,41	4,57	3,95	5
	4,37	4,22	4,03	3,91	7
	4,43	4,34	4,37	4,11	9
	3,99	3,99	4,07	4,03	11
	3,95	3,99	4,49	4,45	19
	-	-	-	-	
M	4,167	4,136	4,249	4,090	
S	0,182	0,282	0,232	0,239	

Gruppe II	3,84	3,58	4,07	3,84	2
	4,12	4,03	4,07	3,86	10
	4,37	4,24	4,37	3,84	13
	4,26	3,72	3,55	3,89	17
	4,26	4,05	4,18	3,99	18
	3,99	4,39	4,68	3,91	20
	-	-	-	-	
M	4,140	3,992	4,153	3,888	
S	0,197	0,341	0,375	0,057	

Gruppe III	4,12	3,66	3,95	4,07	4
	4,07	4,10	4,35	4,26	6
	4,05	3,99	4,45	4,11	8
	4,45	4,93	4,35	4,34	12
	3,99	3,95	4,14	3,88	14
	4,49	3,84	4,09	3,95	16
	-	-	-	-	
M	4,195	4,078	4,222	4,102	
S	0,217	0,443	0,191	0,176	
=====					
Gesamt - M	4,167	4,077	4,210	4,030	[n = 19]
Gesamt - S	0,188	0,342	0,263	0,200	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelerggebnisse: K A L I U M im URIN (mmol/d)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	76,47	105,9	58,87	83,53	1
	71,47	57,65	62,35	95,29	3
	70,88	90,59	70,59	49,29	5
	70,88	47,35	39,41	62,35	7
	21,18	58,12	77,65	66,47	9
	81,18	47,88	17,65	32,35	11
	75,59	105,3	116,5	110,0	19
	-	-	-	-	
M	66,81	73,11	63,29	71,33	
S	20,47	26,56	31,00	26,86	

Gruppe II	40,35	65,59	101,2	63,53	2
	86,47	85,29	85,59	105,9	10
	48,24	36,76	27,94	31,18	13
	60,00	73,82	72,94	64,12	17
	96,47	85,23	78,24	99,71	18
	141,8	119,1	89,12	127,9	20
	-	-	-	-	
M	78,89	76,11	75,84	82,06	
S	37,70	29,99	25,39	35,31	

Gruppe III	83,24	48,82	24,71	41,77	4
	101,8	73,53	52,35	60,00	6
	118,2	35,65	67,65	68,24	8
	79,71	75,29	78,82	49,12	12
	34,41	80,00	71,18	91,77	14
	111,8	49,41	43,24	44,94	16
	-	-	-	-	
M	89,69	60,54	59,33	59,31	
S	27,32	18,14	15,32	18,72	
=====					
Gesamt - M	77,85	69,73	66,00	70,92	[n = 19]
Gesamt - S	28,92	24,59	24,79	27,76	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: C A L C I U M im VOLLBLUT (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	1,29	1,30	1,35	1,34	1
	1,41	1,38	1,47	1,38	3
	1,30	1,31	1,36	1,27	5
	1,36	1,38	1,37	1,35	7
	1,39	1,32	1,34	1,39	9
	1,41	1,41	1,41	1,46	11
	1,45	1,40	1,47	1,50	19
	-	-	-	-	
M	1,373	1,357	1,396	1,384	
S	0,060	0,046	0,055	0,077	

Gruppe II	1,38	1,39	1,44	1,44	2
	1,35	1,29	1,35	1,34	10
	1,35	1,28	1,41	1,38	13
	1,32	1,28	1,38	1,43	17
	1,44	1,42	1,46	1,45	18
	1,45	1,37	1,50	1,50	20
	-	-	-	-	
M	1,382	1,322	1,423	1,423	
S	0,053	0,054	0,055	0,056	

Gruppe III	1,38	1,39	1,42	1,40	4
	1,35	1,38	1,40	1,32	6
	1,33	1,32	1,38	1,42	8
	1,39	1,42	1,42	1,46	12
	1,44	1,36	1,42	1,40	14
	1,41	1,37	1,44	1,42	16
	-	-	-	-	
M	1,383	1,373	1,413	1,403	
S	0,040	0,033	0,021	0,046	

=====
 Gesamt - M 1,379 1,353 1,410 1,403 [n = 19]
 Gesamt - S 0,049 0,047 0,046 0,061
 =====

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
 n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelerggebnisse: C A L C I U M im SERUM (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	2,26	2,32	2,40	2,31	1
	2,33	2,32	2,41	2,37	3
	2,40	2,44	2,41	2,35	5
	2,35	2,50	2,48	2,38	7
	2,43	2,27	2,32	2,37	9
	2,37	2,35	2,38	2,40	11
	2,35	2,42	2,43	2,35	19
	-	-	-	-	
	M	2,356	2,374	2,404	2,361
	S	0,054	0,081	0,049	0,029

Gruppe II	2,26	2,78	2,35	2,42	2
	2,40	2,29	2,34	2,37	10
	2,45	2,40	2,38	2,37	13
	2,34	2,36	2,30	2,29	17
	2,42	2,41	2,42	2,40	18
	2,30	2,34	2,48	2,32	20
	-	-	-	-	
	M	2,362	2,434	2,378	2,363
	S	0,074	0,197	0,064	0,051

Gruppe III	2,35	2,26	2,31	2,37	4
	2,35	2,46	2,41	2,33	6
	2,37	2,35	2,44	2,37	8
	2,42	2,32	2,27	2,36	12
	2,40	2,37	2,32	2,34	14
	2,34	2,30	2,31	2,31	16
	-	-	-	-	
	M	2,372	2,343	2,343	2,347
	S	0,032	0,069	0,066	0,024
	=====				
Gesamt - M	2,363	2,381	2,377	2,357	[n = 19]
Gesamt - S	0,053	0,119	0,062	0,035	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen, n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: C A L C I U M in URIN (mmol/d)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	6,69	4,19	6,84	4,81	1
	3,97	5,55	5,00	4,75	3
	2,01	2,71	2,68	4,12	5
	5,10	7,20	6,32	6,29	7
	6,65	4,79	5,57	5,82	9
	2,93	0,68	2,22	3,21	11
	4,80	1,79	4,24	3,02	19
	-	-	-	-	
M	4,593	3,844	4,697	4,574	
S	1,768	2,262	1,758	1,229	

Gruppe II	1,89	1,71	1,55	1,59	2
	6,08	3,53	4,44	3,46	10
	6,64	7,20	4,10	3,19	13
	6,39	6,03	5,54	5,03	17
	5,16	4,75	5,23	4,00	18
	1,59	0,66	1,48	2,18	20
	-	-	-	-	
M	4,625	3,826	3,723	3,242	
S	2,292	2,776	1,788	1,239	

Gruppe III	3,95	3,34	2,34	2,86	4
	4,11	5,71	3,39	5,58	6
	3,74	4,26	5,66	6,71	8
	2,08	1,52	1,24	1,22	12
	3,20	0,89	2,76	2,92	14
	3,28	2,93	3,56	4,45	16
	-	-	-	-	
M	3,393	3,108	3,158	3,972	
S	0,737	1,768	1,482	2,016	
=====					
Gesamt - M	4,224	3,594	3,904	3,963	[n = 19]
Gesamt - S	1,729	2,160	1,723	1,542	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: M A G N E S I U M im VOLLBLUT (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer	
Gruppe I	1,45	1,43	1,49	1,42	1	
	1,39	1,35	1,45	1,38	3	
	1,33	1,35	1,41	1,39	5	
	1,39	1,42	1,30	1,38	7	
	1,35	1,39	1,36	1,33	9	
	1,33	1,29	1,32	1,28	11	
	1,39	1,42	1,42	1,42	19	
	-	-	-	-		
	M	1,376	1,379	1,393	1,371	
S	0,043	0,051	0,069	0,051		

Gruppe II	1,28	1,33	1,38	1,34	2	
	1,39	1,38	1,33	1,38	10	
	1,48	1,50	1,51	1,50	13	
	1,42	1,44	1,44	1,36	17	
	1,28	1,31	1,35	1,33	18	
	1,48	1,48	1,56	1,46	20	
	-	-	-	-		
	M	1,388	1,426	1,428	1,395	
	S	0,091	0,071	0,092	0,069	

Gruppe III	1,39	1,33	1,36	1,35	4	
	1,39	1,39	1,44	1,36	6	
	1,41	1,36	1,39	1,33	8	
	1,33	1,33	1,35	1,33	12	
	1,41	1,42	1,42	1,35	14	
	1,31	1,31	1,33	1,30	16	
	-	-	-	-		
	M	1,373	1,357	1,382	1,337	
	S	0,043	0,042	0,043	0,022	
=====						
Gesamt - M	1,379	1,384	1,401	1,368	[n = 19]	
Gesamt - S	0,059	0,058	0,070	0,054		
=====						

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelerggebnisse: M A G N E S I U M im ERYTHROZYTEN (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	2,22	2,24	2,44	2,40	1
	2,30	2,34	2,45	2,39	3
	2,04	2,03	2,21	2,17	5
	2,02	2,29	1,93	2,25	7
	2,14	2,31	2,32	2,18	9
	1,94	2,09	2,19	2,06	11
	2,12	2,41	2,40	2,32	19
	-	-	-	-	
	M	2,111	2,244	2,277	2,253
	S	0,123	0,137	0,185	0,125

Gruppe II	2,24	2,24	2,27	2,28	2
	2,09	2,27	2,16	2,25	10
	2,14	2,41	2,40	2,48	13
	2,19	2,31	2,40	2,33	17
	2,02	2,20	2,30	2,21	18
	2,43	2,50	2,66	2,47	20
	-	-	-	-	
	M	2,185	2,346	2,365	2,337
	S	0,142	0,107	0,170	0,114

Gruppe III	2,27	2,23	2,19	2,26	4
	2,16	2,26	2,36	2,26	6
	2,09	2,12	2,22	2,14	8
	2,13	2,25	2,33	2,23	12
	2,23	2,36	2,34	2,35	14
	2,06	2,24	2,22	2,11	16
	-	-	-	-	
	M	2,157	2,243	2,277	2,225
	S	0,081	0,077	0,075	0,088
=====					
Gesamt - M	2,149	2,272	2,305	2,271	[n = 19]
Gesamt - S	0,116	0,115	0,151	0,115	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: M A G N E S I U M im SERUM (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	0,80	0,72	0,73	0,71	1
	0,79	0,69	0,74	0,74	3
	0,77	0,70	0,75	0,78	5
	0,82	0,72	0,75	0,74	7
	0,75	0,73	0,73	0,77	9
	0,85	0,76	0,75	0,81	11
	0,90	0,78	0,80	0,86	19
	-	-	-	-	
M	0,811	0,729	0,750	0,773	
S	0,051	0,032	0,024	0,050	

Gruppe II	0,67	0,71	0,73	0,71	2
	0,73	0,67	0,68	0,72	10
	0,85	0,76	0,77	0,74	13
	0,78	0,74	0,73	0,74	17
	0,74	0,75	0,74	0,76	18
	0,83	0,80	0,84	0,87	20
	-	-	-	-	
	-	-	-	-	
M	0,767	0,736	0,748	0,757	
S	0,067	0,049	0,053	0,058	

Gruppe III	0,78	0,74	0,81	0,77	4
	0,81	0,75	0,73	0,74	6
	0,80	0,79	0,73	0,74	8
	0,83	0,80	0,80	0,78	12
	0,75	0,75	0,78	0,74	14
	0,78	0,75	0,76	0,78	16
	-	-	-	-	
	-	-	-	-	
M	0,792	0,763	0,768	0,762	
S	0,028	0,025	0,034	0,018	
=====					
Gesamt - M	0,791	0,742	0,755	0,764	[n = 19]
Gesamt - S	0,052	0,037	0,037	0,044	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: M A G N E S I U M im URIN (mmol/d)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	5,74	1,07	6,77	5,69	1
	5,25	6,91	6,53	7,08	3
	4,74	5,64	6,29	7,27	5
	5,33	6,69	6,51	2,03	7
	7,13	6,41	7,18	6,07	9
	6,55	4,98	4,30	6,55	11
	5,31	4,89	7,09	5,33	19
	-	-	-	-	
	M	5,721	5,268	6,381	5,717
	S	0,835	2,188	0,972	1,772
Gruppe II	4,28	7,77	7,12	6,09	2
	6,46	0,36	5,13	2,17	10
	6,32	0,57	6,84	7,00	13
	6,28	5,90	0,45	4,85	17
	4,66	0,07	5,87	5,00	18
	4,77	3,74	3,78	3,96	20
	-	-	-	-	
	M	5,463	4,443	4,865	4,845
	S	0,992	3,181	2,479	1,683
Gruppe III	5,68	6,08	0,72	6,96	4
	6,25	6,66	6,31	0,36	6
	4,54	5,79	5,87	6,10	8
	6,13	7,49	5,88	4,41	12
	5,47	1,67	6,95	5,26	14
	4,01	6,77	0,17	4,90	16
	-	-	-	-	
	M	5,347	5,743	4,317	4,665
	S	0,894	2,081	3,030	2,295
Gesamt - M	5,521	5,240	5,251	5,105	[n = 19]
Gesamt - S	0,869	2,309	2,326	1,878	

(A = Ausgangsruehwerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: E I S E N im VOLLBLUT (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	9,23	9,26	9,37	8,90	1
	8,40	8,72	8,63	8,24	3
	9,21	9,39	9,52	9,21	5
	8,73	9,14	8,50	9,11	7
	8,57	8,90	8,48	8,44	9
	9,06	8,57	8,73	8,65	11
	8,34	8,72	8,73	8,68	19
	-	-	-	-	
M	8,791	8,957	8,851	8,747	
S	0,376	0,310	0,419	0,350	

Gruppe II	8,32	8,48	8,55	8,57	2
	9,56	9,24	8,90	9,26	10
	9,26	9,56	9,39	9,39	13
	9,21	9,37	9,06	8,81	17
	8,57	8,56	8,72	8,73	18
	8,57	8,62	8,98	8,24	20
	-	-	-	-	
M	8,915	9,054	8,933	8,833	
S	0,493	0,476	0,290	0,430	

Gruppe III	8,57	8,20	8,25	8,24	4
	8,57	8,88	8,83	8,49	6
	9,42	8,81	9,14	8,93	8
	8,57	8,17	7,91	8,24	12
	8,90	8,70	8,68	8,60	14
	8,63	8,48	8,37	8,47	16
	-	-	-	-	
M	8,777	8,540	8,530	8,495	
S	0,340	0,307	0,441	0,257	
=====					
Gesamt - M	8,826	8,845	8,776	8,695	[n = 19]
Gesamt - S	0,388	0,407	0,408	0,362	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: E I S E N im ERYTHROZYTEN (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	20,19	19,80	21,08	21,11	1
	21,14	21,76	20,81	21,25	3
	20,90	20,70	21,02	21,00	5
	18,36	20,41	18,14	21,51	7
	19,86	21,33	21,38	21,17	9
	20,47	21,45	22,02	22,90	11
	20,78	22,22	22,47	22,64	19
	-	-	-	-	
M	20,24	21,10	20,99	21,65	
S	0,937	0,836	1,388	0,782	

Gruppe II	21,42	20,87	20,19	21,39	2
	19,64	20,77	20,19	21,40	10
	18,92	21,32	20,66	21,42	13
	20,22	20,94	21,29	22,49	17
	20,28	21,05	22,20	22,18	18
	21,08	21,48	22,71	22,36	20
	-	-	-	-	
	-	-	-	-	
M	20,26	21,08	21,21	21,87	
S	0,916	0,307	1,060	0,524	

Gruppe III	20,98	20,67	20,70	21,09	4
	19,86	20,89	20,19	20,82	6
	19,85	20,56	20,56	21,54	8
	22,23	22,29	21,95	21,76	12
	19,93	20,84	21,19	22,67	14
	20,87	22,53	21,43	21,69	16
	-	-	-	-	
	-	-	-	-	
M	20,62	21,30	21,00	21,60	
S	0,941	0,874	0,642	0,640	
=====					
Gesamt - M	20,37	21,16	21,06	21,70	[n = 19]
Gesamt - S	0,896	0,710	1,039	0,639	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelerggebnisse: E I S E N im SERUM (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer	
Gruppe I	0,029	0,025	0,020	0,022	1	
	0,012	0,024	0,027	0,025	3	
	0,028	0,020	0,033	0,020	5	
	0,016	0,028	0,022	0,017	7	
	0,018	0,012	0,022	0,026	9	
	0,026	0,020	0,014	0,024	11	
	0,012	0,017	0,019	0,017	19	
	-	-	-	-		
	M	0,0201	0,0209	0,0224	0,0216	
	S	0,007	0,005	0,006	0,004	

Gruppe II	0,017	0,013	0,014	0,020	2	
	0,033	0,030	0,026	0,024	10	
	0,015	0,014	0,018	0,014	13	
	0,020	0,021	0,023	0,027	17	
	0,023	0,022	0,028	0,024	18	
	0,016	0,010	0,017	0,018	20	
	-	-	-	-		
	M	0,0207	0,0176	0,0210	0,212	
	S	0,007	0,008	0,006	0,005	

Gruppe III	0,020	0,014	0,016	0,022	4	
	0,014	0,023	0,045	0,024	6	
	0,017	0,017	0,020	0,018	8	
	0,018	0,018	0,012	0,022	12	
	0,021	0,020	0,020	0,013	14	
	0,015	0,011	0,020	0,017	16	
	-	-	-	-		
	M	0,0175	0,0172	0,0222	0,0193	
	S	0,003	0,004	0,0116	0,004	
	=====					
Gesamt - M	0,0195	0,0187	0,0219	0,0207	[n = 19]	
Gesamt - S	0,006	0,006	0,008	0,004		
=====						

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: E I S E N im URIN ($\mu\text{mol/d}$)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	2	1	2	2	1
	2	3	1	3	3
	2	2	2	2	5
	2	1	1	2	7
	2	1	1	2	9
	1	1	1	1	11
	7	1	2	2	19
	-	-	-	-	
M	2,57	1,43	1,43	2,43	
S	0,002	0,0008	0,0005	0,0006	

Gruppe II	1	1	1	1	2
	3	2	2	3	10
	2	4	1	2	13
	1	1	2	2	17
	2	2	1	2	18
	3	2	1	2	20
	-	-	-	-	
M	1,73	1,73	1,43	1,73	
S	0,0009	0,001	0,0005	0,0006	

Gruppe III	2	1	1	1	4
	2	2	1	2	6
	2	1	1	2	8
	1	1	2	1	12
	2	1	1	2	14
	1	1	1	1	16
	-	-	-	-	
M	1,43	1,00	1,00	1,28	
S	0,0005	0,0004	0,0004	0,0005	

=====
Gesamt - M 2,10 1,42 1,32 1,84 [n = 19]
Gesamt - S 0,003 0,0009 0,0005 0,0006
=====

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: Z I N K im VOLLBLUT ($\mu\text{mol/l}$)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	0,083	0,084	0,085	0,084	1
	0,104	0,087	0,089	0,090	3
	0,103	0,085	0,083	0,088	5
	0,089	0,090	0,088	0,094	7
	0,090	0,085	0,080	0,087	9
	0,090	0,081	0,085	0,085	11
	0,074	0,072	0,075	0,078	19
	-	-	-	-	
M	0,0904	0,0834	0,0836	0,0866	
S	0,0106	0,0030	0,0050	0,0050	

Gruppe II	0,073	0,074	0,079	0,079	2
	0,080	0,075	0,075	0,079	10
	0,078	0,074	0,073	0,078	13
	0,086	0,089	0,091	0,088	17
	0,079	0,079	0,079	0,081	18
	0,052	0,052	0,053	0,056	20
	-	-	-	-	
M	0,0747	0,0728	0,0750	0,0768	
S	0,0119	0,0133	0,0125	0,0108	

Gruppe III	0,078	0,072	0,072	0,078	4
	0,082	0,084	0,081	0,081	6
	0,090	0,080	0,082	0,084	8
	0,070	0,070	0,065	0,069	12
	0,074	0,074	0,077	0,078	14
	0,067	0,062	0,066	0,068	16
	-	-	-	-	
M	0,0768	0,0737	0,0738	0,0763	
S	0,008	0,008	0,007	0,007	
=====					
Gesamt - M	0,0812	0,0772	0,0778	0,0803	[n = 19]
Gesamt - S	0,0122	0,0100	0,0090	0,0090	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: Z I N K im ERYTHROZYTEN ($\mu\text{mol/l}$)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	0,170	0,162	0,180	0,186	1
	0,245	0,194	0,199	0,215	3
	0,218	0,170	0,168	0,184	5
	0,176	0,183	0,176	0,207	7
	0,196	0,188	0,187	0,203	9
	0,186	0,185	0,202	0,211	11
	0,168	0,162	0,174	0,188	19
	-	-	-	-	
M	0,1941	0,1777	0,1837	0,1991	
S	0,0283	0,0129	0,0129	0,0129	

Gruppe II	0,171	0,162	0,172	0,182	2
	0,154	0,153	0,159	0,171	10
	0,149	0,152	0,145	0,168	13
	0,173	0,182	0,199	0,211	17
	0,171	0,170	0,183	0,189	18
	0,112	0,107	0,117	0,132	20
	-	-	-	-	
M	0,155	0,1512	0,1625	0,1755	
S	0,0233	0,0275	0,0291	0,0263	

Gruppe III	0,175	0,162	0,166	0,186	4
	0,170	0,179	0,170	0,183	6
	0,176	0,172	0,172	0,190	8
	0,161	0,165	0,161	0,166	12
	0,153	0,179	0,175	0,188	14
	0,147	0,143	0,155	0,160	16
	-	-	-	-	
M	0,1637	0,1667	0,1665	0,1788	
S	0,0120	0,0135	0,0070	0,0126	
=====					
Gesamt - M	0,1722	0,1667	0,1716	0,1853	[n = 19]
Gesamt - S	0,0277	0,0203	0,0200	0,0203	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: Z I N K im SERUM ($\mu\text{mol/l}$)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	10	16	9	10	1
	11	16	11	11	3
	13	15	13	13	5
	10	15	11	11	7
	10	11	10	10	9
	14	12	8	9	11
	11	14	12	10	19
	-	-	-	-	
M	11,29	14,14	10,57	10,57	
S	1,604	1,952	1,718	1,272	

Gruppe II	11	14	11	10	2
	10	13	9	9	10
	10	11	13	8	13
	13	14	11	9	17
	12	12	12	11	18
	11	15	11	12	20
	-	-	-	-	
M	11,17	13,40	11,17	9,833	
S	1,169	1,517	1,329	1,472	

Gruppe III	11	13	10	9	4
	15	14	12	11	6
	12	11	10	9	8
	13	11	11	10	12
	10	13	9	11	14
	11	13	9	9	16
	-	-	-	-	
M	12,00	12,50	10,17	9,833	
S	1,789	1,225	1,169	0,983	
=====					
Gesamt - M	11,47	13,39	10,63	10,11	[n = 19]
Gesamt - S	1,504	1,685	1,422	1,243	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: Z I N K im URIN ($\mu\text{mol/d}$)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	2	4	4	5	1
	7	16	13	16	3
	5	9	9	14	5
	4	6	9	7	7
	8	9	8	7	9
	6	2	3	5	11
	7	9	7	10	19
	-	-	-	-	
	M	5,571	7,857	7,571	9,143
	S	2,070	4,525	3,359	4,375

Gruppe II	6	15	13	19	2
	10	7	4	9	10
	7	6	9	12	13
	5	7	5	4	17
	7	9	6	9	18
	5	5	2	9	20
	-	-	-	-	
	M	6,667	8,000	6,500	10,33
	S	1,862	4,000	3,937	4,967

Gruppe III	9	11	6	11	4
	6	9	9	5	6
	7	6	5	11	8
	7	11	7	5	12
	4	10	8	12	14
	7	8	4	7	16
	-	-	-	-	
	M	6,667	9,167	6,500	8,500
	S	1,633	1,941	1,871	3,209
=====					
Gesamt - M	6,263	8,333	6,895	9,316	[n = 19]
Gesamt - S	1,851	3,531	3,053	4,083	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergbnisse: K U P F E R im VOLLBLUT ($\mu\text{mol/l}$)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	11	9	9	10	1
	14	10	12	11	3
	11	10	11	11	5
	11	9	10	10	7
	10	8	10	10	9
	11	8	9	11	11
	13	9	9	10	19
	-	-	-	-	-
M	11,57	9,00	10,00	10,43	
S	1,397	0,816	1,155	0,534	

Gruppe II	13	10	12	11	2
	11	8	9	9	10
	13	9	9	12	13
	9	9	9	9	17
	10	8	8	9	18
	13	14	10	12	20
	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
M	11,50	10,00	9,500	10,67	
S	1,761	2,345	1,378	1,366	

Gruppe III	12	9	10	9	4
	11	8	9	9	6
	11	9	11	11	8
	8	8	9	9	12
	11	9	11	13	14
	13	10	9	11	16
	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
M	11,00	8,833	9,833	10,33	
S	1,673	0,753	0,983	1,633	
=====					
Gesamt - M	11,37	9,222	9,789	10,47	[n = 19]
Gesamt - S	1,535	1,396	1,134	1,172	
=====					

(A = Ausgangsruhwerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: K U P F E R im ERYTHROZYTEN ($\mu\text{mol/l}$)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	11	10	4	7	1
	16	4	5	2	3
	8	6	6	5	5
	9	7	5	6	7
	6	4	0,4	4	9
	7	4	3	6	11
	12	6	1	4	19
	-	-	-	-	
M	9,857	5,857	3,486	4,857	
S	3,436	2,193	2,126	1,676	

Gruppe II	13	6	7	5	2
	10	4	3	1	10
	11	4	1	3	13
	5	4	4	5	17
	9	3	1	3	18
	13	4	2	4	20
	-	-	-	-	
M	10,17	4,40	3,00	3,50	
S	2,994	0,894	2,280	1,517	

Gruppe III	13	9	6	3	4
	8	1	1	3	6
	9	1	5	2	8
	10	10	5	2	12
	7	2	5	2	14
	12	7	3	5	16
	-	-	-	-	
M	9,833	5,00	4,167	2,833	
S	2,317	4,147	1,835	1,169	
=====					
Gesamt - M	9,947	5,167	3,547	3,789	[n = 19]
Gesamt - S	2,818	2,706	2,029	1,653	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelerggebnisse: K U P F E R im SERUM ($\mu\text{mol/l}$)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	11	8	13	12	1
	13	14	17	18	3
	13	13	15	16	5
	13	11	14	13	7
	13	11	14	14	9
	14	11	13	14	11
	14	11	14	14	19
	-	-	-	-	
	M	13,00	11,29	14,29	14,43
	S	1,00	1,89	1,38	1,99

Gruppe II	13	13	16	15	2
	12	11	14	15	10
	15	13	17	19	13
	12	13	13	15	17
	11	10	14	13	18
	13	14	18	17	20
	-	-	-	-	
	M	12,67	12,80	15,33	15,67
	S	1,366	1,095	1,966	2,066

Gruppe III	11	9	13	13	4
	13	14	15	13	6
	13	15	16	13	8
	7	7	11	13	12
	14	14	15	21	14
	14	12	13	15	16
	-	-	-	-	
	M	12,00	11,83	13,83	14,67
	S	2,683	3,189	1,835	3,204
	=====				
Gesamt - M	12,58	11,89	14,47	14,89	[n = 19]
Gesamt - S	1,742	2,220	1,744	2,378	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: K U P F E R im URIN ($\mu\text{mol/d}$)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	1	0,1	0,3	1	1
	1	0,1	1	1	3
	1	0,3	1	1	5
	3	0,3	1	1	7
	1	0,3	1	1	9
	1	0,2	0,3	1	11
	1	0,7	1	1	19
	-	-	-	-	
M	1,286	0,286	0,800	1,000	
S	0,756	0,204	0,346	0	

Gruppe II	1	0,3	1	1	2
	1	0,5	1	1	10
	1	0,4	1	1	13
	0,3	0,4	1	1	17
	1	0,5	1	1	18
	1	0,4	1	1	20
	-	-	-	-	
M	0,883	0,400	1,00	1,00	
S	0,286	0,707	0	0	

Gruppe III	1	0,1	0,4	1	4
	1	0,1	1	1	6
	1	0,1	1	1	8
	0,4	0,6	1	1	12
	1	0,4	1	1	14
	0,4	0,2	0,5	0,5	16
	-	-	-	-	
M	0,800	0,250	0,817	0,917	
S	0,310	0,207	0,286	0,204	

=====
 Gesamt - M 1,005 0,306 0,868 0,973 [n = 19]
 Gesamt - S 0,538 0,179 0,265 0,115
 =====

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
 n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: CHLORID im SERUM (mmol/l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer	
Gruppe I	118,2	120,2	121,2	120,1	1	
	114,2	115,2	120,2	126,2	3	
	119,2	111,2	92,1	125,2	5	
	119,2	122,2	118,4	160,2	7	
	121,2	118,2	114,2	123,2	9	
	120,2	122,2	121,2	124,2	11	
	122,2	115,2	123,2	122,2	19	
	-	-	-	-		
	M	119,2	117,8	115,8	128,8	
	S	2,582	4,117	10,83	14,01	

Gruppe II	120,2	118,2	125,2	124,2	2	
	113,2	122,2	118,2	121,2	10	
	121,2	112,2	135,2	166,2	13	
	120,2	118,2	123,2	118,2	17	
	114,2	116,2	122,2	123,2	18	
	122,2	112,2	112,2	124,2	20	
	-	-	-	-		
	M	118,5	116,6	122,7	129,5	
	S	3,830	4,336	7,662	18,11	

Gruppe III	113,2	111,1	120,2	127,2	4	
	114,2	125,2	135,2	126,2	6	
	117,2	116,2	110,2	125,2	8	
	110,2	120,2	131,2	130,2	12	
	118,2	116,2	124,2	132,2	14	
	120,2	117,2	120,2	106,2	16	
	-	-	-	-		
	M	115,5	117,7	123,5	124,5	
	S	3,670	4,680	8,892	9,352	
	=====					
Gesamt - M	117,8	117,4	120,4	127,7	[n = 19]	
Gesamt - S	3,562	4,138	9,522	13,63		
=====						

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelerggebnisse: C H L O R I D im URIN (mmol/d)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	226,5	112,2	237,3	113,2	1
	351,5	188,3	165,2	117,2	3
	268,4	180,3	257,4	262,4	5
	260,4	168,3	115,2	168,2	7
	276,4	111,2	240,4	148,2	9
	238,4	126,2	80,1	90,1	11
	346,5	135,2	140,2	95,1	19
	-	-	-	-	
	M	281,2	146,0	176,5	142,1
	S	49,41	32,47	69,31	59,94

Gruppe II	299,0	128,2	158,2	97,9	2
	324,5	201,3	143,2	128,2	10
	284,5	244,4	52,1	60,1	13
	229,3	183,3	158,2	196,3	17
	246,4	175,7	166,2	147,2	18
	284,4	203,3	100,2	124,2	20
	-	-	-	-	
	M	278,0	192,1	129,7	125,7
	S	34,80	42,15	44,79	45,89

Gruppe III	250,4	100,2	133,2	160,2	4
	242,4	224,3	157,2	222,3	6
	236,4	90,1	163,2	138,2	8
	250,4	183,3	220,3	192,3	12
	302,4	106,2	176,3	164,2	14
	214,3	178,3	172,3	122,2	16
	-	-	-	-	
	M	249,4	147,1	170,4	166,6
	S	29,19	55,43	28,77	36,30
=====					
Gesamt - M	270,1	159,1	159,8	144,6	[n = 19]
Gesamt - S	39,98	46,22	53,27	49,31	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelergebnisse: KREATININ (mg / 100 ml)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer	
Gruppe I	1,2	1,5	1,5	1,7	1	
	0,8	1,2	1,4	1,5	3	
	1,1	1,3	1,4	1,3	5	
	1,2	1,7	1,8	1,6	7	
	1,0	1,2	1,2	1,4	9	
	1,1	1,1	1,3	1,5	11	
	1,2	1,5	1,6	1,9	19	
	-	-	-	-		
	M	1,09	1,36	1,46	1,56	
S	0,146	0,215	0,200	0,200		

Gruppe II	0,9	1,2	1,3	1,4	2	
	1,0	1,3	1,3	1,4	10	
	1,1	1,3	1,5	1,6	13	
	1,2	1,5	1,7	1,8	17	
	1,0	1,2	1,4	1,6	18	
	0,8	1,2	1,3	1,4	20	
	-	-	-	-		
	M	1,00	1,30	1,42	1,53	
	S	0,141	0,122	0,160	0,163	

Gruppe III	0,8	1,0	1,2	1,2	4	
	1,0	1,7	1,7	1,5	6	
	1,1	1,3	1,3	1,5	8	
	0,8	1,1	1,1	1,3	12	
	0,9	1,4	1,2	1,3	14	
	0,9	0,8	1,2	1,1	16	
	-	-	-	-		
	M	0,92	1,22	1,28	1,32	
	S	0,117	0,319	0,214	0,160	
=====						
Gesamt - M	1,005	1,279	1,389	1,474	[n = 19]	
Gesamt - S	0,147	0,235	0,197	0,199		
=====						

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

Einzelerggebnisse: G E S A M T - E I W E I S S (g / 1 0 0 m l)

	A	1. Lauf	2. Lauf	3. Lauf	Probanden- Nummer
Gruppe I	7,8	8,0	7,5	7,5	1
	7,0	7,9	8,3	7,75	3
	8,2	8,85	8,3	8,0	5
	7,1	8,6	8,5	7,7	7
	7,5	7,1	7,4	7,0	9
	7,7	7,2	7,3	7,6	11
	7,2	7,4	7,6	7,65	19
	-	-	-	-	
M	7,50	7,86	7,96	7,60	
S	0,432	0,680	0,503	0,307	

Gruppe II	7,8	8,1	8,1	7,65	2
	7,8	7,8	7,7	7,65	10
	7,7	8,1	7,5	8,5	13
	7,3	7,4	7,8	7,1	17
	7,7	8,1	8,2	8,8	18
	7,1	8,9	8,4	8,0	20
	-	-	-	-	
M	7,57	8,06	7,95	7,95	
S	0,294	0,551	0,339	0,621	

Gruppe III	7,5	7,3	7,5	7,4	4
	7,9	7,6	8,0	7,4	6
	8,2	7,25	8,2	7,5	8
	7,8	7,7	7,8	8,2	12
	6,5	6,6	7,3	7,3	14
	7,4	6,6	7,2	7,3	16
	-	-	-	-	
M	7,55	7,17	7,67	7,52	
S	0,589	0,477	0,398	0,343	
=====					
Gesamt - M	7,537	7,689	7,863	7,684	[n = 19]
Gesamt - S	0,428	0,669	0,423	0,455	
=====					

(A = Ausgangsrühewerte, M = Mittelwerte, S = Standardabweichungen,
n = Gesamtzahl der Teilnehmer)

I. DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank gilt:

Herrn Professor Dr. med. Alfred Doenicke, der es mir ermöglichte, diese Studie durchzuführen.

Ich möchte Ihm danken für die Überlassung des Arbeitsplatzes und vor allem für die stets wohlwollende Unterstützung und Geduld, die mir ein selbstständiges Arbeiten ermöglichte;

Herrn Hanno Suttman, der mir bei der Durchführung der Untersuchungen, der Auswertung und der schriftlichen sowie graphischen Darlegung der Arbeit eine große Hilfe war und stets mit Rat und Tat zur Seite stand;

Herrn Dipl.-Ing. Heinz Ebentheuer für die Einarbeitung in das System der elektronischen Datenverarbeitung (EDV);

Frau Stephanie Doenicke für die Überlassung Ihres Arbeitsplatzes an der EDV-Anlage und die unermüdliche Hilfe bei der Darstellung und dem Druck der Arbeit im Textsystem;

Herrn Dr. med. Martin Schreiber für seine wertvolle Hilfe bei der Erstellung der Test-Statistik;

Herrn Dr. Franz Köhler für die Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen und insbesondere für die Bestimmung der Kationen-Konzentrationen;

Frl. Christine Bretz für die Durchführung der Labor-Analysen;

und nicht zuletzt allen beteiligten Sportlern und ihrem Trainer, Herrn Rudi Sperber, für ihre bereitwillige Mitarbeit und ihre Zuverlässigkeit im Verlauf der 4-wöchigen Studie.

K. LEBENS LAUF

Nikolaus-Peter Wenzler

geboren 27.05.1957 in Murnau

Eltern: Karl Wenzler

Johanna Wenzler, geb. Ullrich

- 1963 Eintritt in die Volksschule Partenkirchen
- 1967 Eintritt in das Werdenfels-Gymnasium in Garmisch-Partenkirchen
- 1976 Abitur
- 1976 Grundwehrdienst bei der Bundeswehr
- 1977 Beginn des Studiums an der Ludwig-Maximilians-Universität in München im Fach Human-Medizin
- 1979 Physikum
- 1980 1. Teil der Ärztlichen Prüfung
- 1982 2. Teil der Ärztlichen Prüfung
- 1984 3. Teil der Ärztlichen Prüfung
- 1984 Approbation

